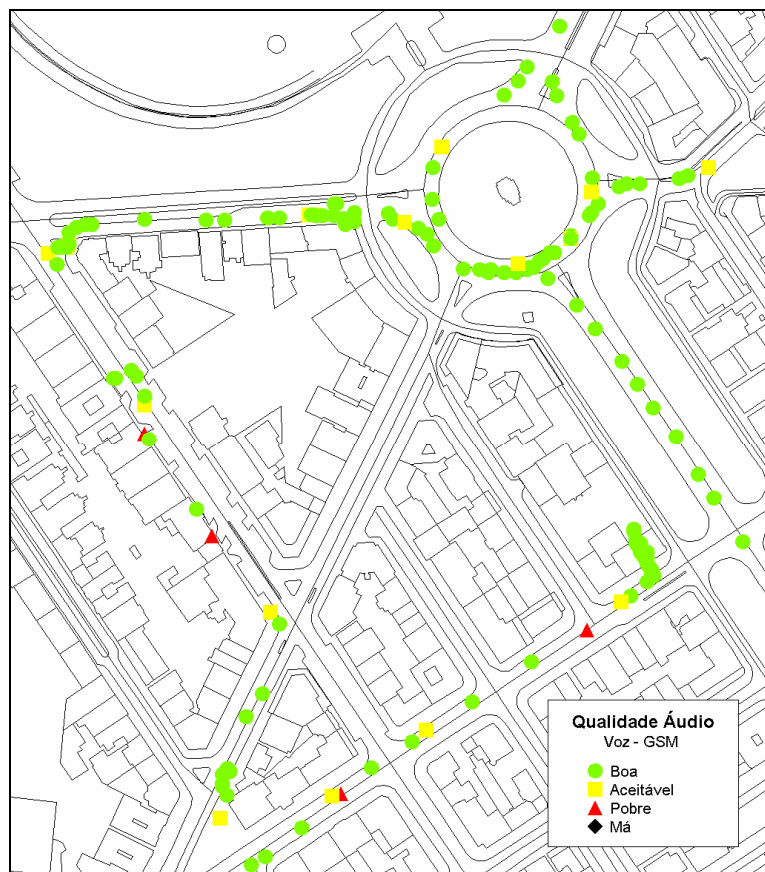




**João Manuel
Lima Paiva**

Análise da QoS na Perspectiva do Utilizador dos Serviços mais Comuns em Sistemas Celulares GSM e UMTS





***João Manuel
Lima Paiva***

**Análise da QoS na Perspectiva do Utilizador
dos Serviços mais Comuns
em Sistemas Celulares GSM e UMTS**

Dissertação apresentada à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Electrónica e Telecomunicações, realizada sob a orientação científica da Doutora Susana Sargento, Professora Auxiliar Convidada, e do Doutor Nuno Borges Carvalho, Professor Associado, do Departamento de Electrónica, Telecomunicações e Informática da Universidade de Aveiro.

O júri

Presidente

Prof. Doutor Paulo Miguel Nepomuceno Pereira Monteiro

Professor Associado do Departamento de Electrónica, Telecomunicações e Informática da Universidade de Aveiro

Prof.^a Doutora Susana Isabel Barreto de Miranda Sargento

Professora Auxiliar Convidada do Departamento de Electrónica, Telecomunicações e Informática da Universidade de Aveiro

Prof. Doutor Nuno Miguel Gonçalves Borges de Carvalho

Professor Associado do Departamento de Electrónica, Telecomunicações e Informática da Universidade de Aveiro

Prof. Doutor Manuel Alberto Pereira Ricardo

Professor Associado do Departamento de Engenharia Electrotécnica e de Computadores da Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto

Agradecimentos

A todas as pessoas e entidades, que contribuíram para a realização deste trabalho, quero expressar a minha gratidão, em particular às seguintes:

- Aos meus colegas José Pinto e José Pedro Borrego, por me fazerem acreditar que este trabalho era possível, pela motivação durante o seu desenvolvimento e colaboração na realização dos testes de campo;
- Aos demais colegas da ANACOM, que nos últimos 8 anos comigo colaboraram na realização de estudos de avaliação da QoS das redes e serviços móveis, na perspectiva do utilizador, pelo empenho, rigor e *feedback* que possibilitaram uma aprendizagem contínua e conduziram à melhoria dos trabalhos realizados;
- Ao ICP–ANACOM – Autoridade Nacional de Comunicações, pelo financiamento e disponibilização de meios para realização deste trabalho;
- Aos meus orientadores, Professora Doutora Susana Sargento e Professor Doutor Nuno Borges Carvalho, pela disponibilidade, apoio e orientação prestada ao longo do desenvolvimento desta dissertação;
- Aos meus familiares e amigos, em especial ao Carlos Paiva, Diamantino Carreira, Jaime Afonso e Paula Rosado, pelo incentivo e confiança que sempre me transmitiram e também pelas preciosas revisões e sugestões que melhoraram esta dissertação.

Palavras-Chave

QoS, QoE, GSM, UMTS, WCDMA, perspectiva do utilizador, indicadores de desempenho, perfis de medida.

Resumo

O aparecimento da tecnologia GSM mudou significativamente o panorama das telecomunicações. Desde que surgiram as primeiras redes comerciais, em 1991, o número de utilizadores tem aumentado continuamente.

Mais recentemente, os sistemas celulares de terceira geração, entre os quais o UMTS, vieram colmatar algumas insuficiências do GSM ao permitirem acessos de alto débito para suporte de serviços de banda larga, tais como, acesso à Internet e aplicações multimédia.

Actualmente, face às elevadas taxas de penetração e de utilização dos sistemas GSM e UMTS, a qualidade de serviço na perspectiva do utilizador assume-se como uma das principais vantagens competitivas dos operadores presentes no mercado. Cada vez mais os consumidores procuram nos serviços simplicidade de utilização e qualidade superior, ininterruptamente e em qualquer lugar.

Nesta dissertação são definidos indicadores de qualidade de serviço e perfis de medida que permitem avaliar o desempenho dos serviços de telefonia (voz e videotelefonia), mensagens (SMS e MMS) e dados (HTTP *browsing*, FTP *upload/download* e E-Mail *send/receive*) suportados em sistemas de comunicações móveis GSM e UMTS.

Para validação dos indicadores de desempenho e perfis de medida, apresentam-se os resultados de uma análise aos serviços de telefonia, mensagens e dados, de dois operadores GSM/UMTS portugueses.

Keywords

QoS, QoE, GSM, UMTS, WCDMA, end-user perspective, quality of experience, performance indicators, measurement profiles.

Abstract

The advent of GSM has changed significantly the telecommunications landscape. Since the launch of the first commercial network, in 1991, the number of subscribers has increased continuously.

More recently, third generation cellular systems, in particular UMTS, went beyond GSM limitations, leveraging high-speed access and broadband services, such as internet and multimedia applications.

Nowadays, due to high penetration and usage of GSM and UMTS systems, the quality of service built upon the user's point of view is one of cornerstones where operators seek to take competitive advantages. Consumers increasingly search for ease-of-use and superior quality, anytime and anywhere.

This dissertation provides quality of service indicators and measurement profiles that allow a performance evaluation, on telephony (voice and video), messaging (SMS and MMS) and data (HTTP browsing, FTP upload/download and E-mail send/receive) services, of the GSM and UMTS mobile communications systems.

To validate the performance indicators and the measurement profiles, the results of an analysis on telephony, messaging and data services, of two Portuguese GSM/UMTS operators, are provided.

Lista de Siglas e Acrónimos

3G	<i>3rd Generation</i>
3GPP	<i>Third Generation Partnership Project</i>
Abis	<i>Interface between BSC and BTS in GSM networks</i>
AMC	<i>Adaptative Modulation and Coding</i>
APN	<i>Access Point Name</i>
ARIB	<i>Association of Radio Industries and Businesses (Japan)</i>
ATIS	<i>Alliance for Telecommunications Industry Solutions (USA)</i>
ATM	<i>Asynchronous Transfer Mode</i>
AuC	<i>Authentication Centre (Register)</i>
BG	<i>Border Gateway</i>
bps	<i>bits por segundo</i>
BSC	<i>Base Station Controller</i>
BSS	<i>Base Station Sub-system</i>
BTS	<i>Base Transceiver Station (2G Cell)</i>
CCSA	<i>China Communications Standards Association</i>
CDMA	<i>Code Division Multiple Access</i>
CEPT	<i>Conférence Européenne des Administrations des Postes et des Télécommunications / European Conference of Postal and Telecommunications Administrations</i>
CN	<i>Core Network</i>
CoDec	<i>Coder/Decoder</i>
CPICH	<i>Common Pilot Channel</i>
CS	<i>Circuit Switched</i>
DCCH	<i>Dedicated Control CHannel</i>
EDGE	<i>Enhanced Data Rates for GSM Evolution</i>
EIR	<i>Equipment Identity Register</i>
ETSI	<i>European Telecommunications Standards Institute</i>
FDD	<i>Frequency Division Duplex</i>
FDMA	<i>Frequency Division Multiple Access</i>
FER	<i>Frame Erasure Rate</i>

FTP	<i>File Transfer Protocol</i>
Gb	<i>GPRS interface between SGSN and GSM BSS</i>
Gc	<i>Interface between GGSN and HLR</i>
GERAN	<i>GSM/EDGE Radio Access Network</i>
GGSN	<i>Gateway GPRS Support Node</i>
Gi	<i>Interface between GGSN and external network</i>
GMSC	<i>Gateway MSC</i>
Gn	<i>Interface between GSNs</i>
Gp	<i>Interface between SGSN and BG</i>
GPRS	<i>General Packet Radio Service</i>
GPRS-CN	<i>GPRS-Core Network</i>
Gr	<i>Interface between SGSN and HLR/AuC</i>
Gs	<i>Interface between GGSN and serving MSC/VLR</i>
GSM	<i>Global System for Mobile communications</i>
HARQ	<i>Hybrid Automatic Request</i>
HLR	<i>Home Location Register</i>
HSDPA	<i>High Speed Downlink Packet Access</i>
HSPA	<i>High Speed Packet Access</i>
HSUPA	<i>High Speed Uplink Packet Access</i>
HTML	<i>Hyper Text Markup Language</i>
HTTP	<i>Hyper Text Transfer Protocol</i>
Hz	<i>Hertz</i>
ICMP	<i>Internet Control Message Protocol</i>
IMEI	<i>International Mobile Equipment Identity</i>
IMS	<i>IP Multimedia Subsystem</i>
IMSI	<i>International Mobile Subscriber Identity</i>
IMT-2000	<i>International Mobile Telecommunications-2000</i>
IP	<i>Internet Protocol</i>
ISDN	<i>Integrated Services Digital Network</i>
ITU	<i>International Telecommunications Union</i>
Iub	<i>UMTS interface between RNC and Node B</i>
Iu-CS	<i>UTRAN interface between RNC and circuit-switched domain of the CN</i>
Iu-PS	<i>UTRAN interface between RNC and packet-switched domain of the CN</i>
LAN	<i>Local Area Network</i>
LTE	<i>Long Term Evolution</i>
MBMS	<i>Multimedia Broadcast/Multicast Service</i>
ME	<i>Mobile Equipment</i>
MExE	<i>Mobile Execution Environment</i>
MIMO	<i>Multiple Input Multiple Output</i>
MMS	<i>Multimedia Messaging Service</i>

MMSC	<i>Multimedia Messaging Service Centre</i>
MO	<i>Mobile Originated</i>
MOC	<i>Mobile Originated Call</i>
MOS	<i>Mean Opinion Score</i>
MOS-LQO	<i>Mean Opinion Score – Listening-Only Quality Objective</i>
MOS-VQO	<i>Mean Opinion Score – Visual Quality Objective</i>
MPEG	<i>Moving Pictures Experts Group</i>
MS	<i>Mobile Station</i>
ms	<i>milissegundo</i>
MSC	<i>Mobile Switching Centre</i>
MSISDN	<i>Mobile Subscriber ISDN Number</i>
MT	<i>Mobile Terminal; Mobile Terminated</i>
MTC	<i>Mobile Terminated Call</i>
MTU	<i>Maximum Transmission Unit</i>
Node B	<i>UMTS Base Station</i>
NSS	<i>Network and Switching Sub-system</i>
OMC	<i>Operation and Maintenance Centre</i>
OSI	<i>Open Systems Interconnection</i>
OSS	<i>Operation Sub-system</i>
PCU	<i>Packet Control Unit</i>
PDP	<i>Packet Data Protocol</i>
PESQ	<i>Perceptual Evaluation of Speech Quality</i>
PLMN	<i>Public Land Mobile Network</i>
PLR	<i>Packet Loss Ratio</i>
POP3	<i>Post Office Protocol version 3</i>
PS	<i>Packet Switched</i>
PSNR	<i>Peak Signal-to-Noise Ratio</i>
PSTN	<i>Public Switched Telephone Network</i>
QoE	<i>Quality of (end-user) Experience</i>
QoS	<i>Quality of Service</i>
REDIS	<i>Rede Digital com Integração de Serviços</i>
RF	<i>Rádio Frequência</i>
RNC	<i>Radio Network Controller</i>
RNS	<i>Radio Network Sub-system</i>
RSCP	<i>Received Signal Code Power</i>
RTT	<i>Round Trip Time</i>
RxLev	<i>Received signal Level</i>
s	<i>segundo</i>
SGSN	<i>Serving GPRS Support Node</i>
SIM	<i>Subscriber Identity Module</i>

SMS	<i>Short Message Service</i>
SMSC	<i>Short Message Service Centre</i>
SMTP	<i>Simple Mail Transfer Protocol</i>
SQuad-LQ	<i>SwissQual's speech quality algorithm for Listening Quality</i>
TCP	<i>Transmission Control Protocol</i>
TDD	<i>Time Division Duplex</i>
TDMA	<i>Time Division Multiple Access</i>
TE	<i>Terminal Equipment</i>
TTA	<i>Telecommunications Technology Association (Korea)</i>
TTC	<i>Telecommunication Technology Committee (Japan)</i>
UE	<i>User Equipment</i>
Um	<i>GSM air interface</i>
UMTS	<i>Universal Mobile Telecommunications System</i>
USIM	<i>UMTS Subscriber Identity Module</i>
UTRAN	<i>UMTS Terrestrial Radio Access Network</i>
Uu	<i>UMTS air interface</i>
VLR	<i>Visitor Location Register</i>
VMS	<i>Voicemail System</i>
VQEG	<i>Video Quality Experts Group</i>
VQuad	<i>Objective Model for Video Quality Assessment</i>
VT	<i>Video Telephony</i>
WAP	<i>Wireless Application Protocol</i>
WCDMA	<i>Wideband Code Division Multiple Access</i>
WLAN	<i>Wireless Local Area Network</i>

Índice

Lista de Siglas e Acrónimos.....	xi
Índice	xv
Lista de Figuras	xix
Lista de Tabelas.....	xxi
 Capítulo 1	 1
INTRODUÇÃO	1
1.1 Enquadramento e Objectivos.....	2
1.2 Organização da Dissertação	9
 Capítulo 2	 11
SISTEMAS E SERVIÇOS DE COMUNICAÇÕES MÓVEIS.....	11
2.1 Sistema Celular GSM.....	12
2.1.1 Arquitectura do Sistema Celular GSM.....	12
2.1.1.1 Estação Móvel (MS)	13
2.1.1.2 Rede Radioeléctrica (BSS).....	14
2.1.1.3 Rede <i>Core</i> e Comutação (NSS).....	14
2.1.1.4 Rede <i>Core</i> GPRS (GPRS-CN)	16
2.1.1.5 Operação e Manutenção (OSS)	16
2.2 Sistema Celular UMTS	17
2.2.1 Arquitectura do Sistema Celular UMTS	18
2.2.1.1 Equipamento de Utilizador (UE).....	19
2.2.1.2 UTRAN.....	19

2.2.1.3	Rede <i>Core</i>	20
2.2.1.4	Arquitectura UMTS após <i>Release 99</i>	20
2.2.1.5	HSDPA e HSUPA	21
2.3	Serviços de Comunicações Móveis.....	23
2.3.1	Classificação dos Serviços de Telecomunicações	23
2.3.1.1	Serviços Básicos	23
2.3.1.2	Serviços Suplementares	24
2.3.2	Requisitos de Qualidade dos Serviços e Aplicações	24
2.3.3	Aspectos que Afectam o Desempenho dos Serviços	25
2.3.3.1	Latência	25
2.3.3.2	Variação da Latência	25
2.3.3.3	Perda de Informação	26
2.3.4	Classes de Qualidade de Serviço em UMTS	26
2.3.5	Considerações Sobre o Desempenho de Algumas Aplicações	27
2.3.5.1	Serviço de Voz.....	27
2.3.5.2	Videotelefonia.....	28
2.3.5.3	<i>Web-Browsing</i>	29
2.3.5.4	Transferência de Dados	29
2.3.5.5	<i>E-Mail</i>	30
2.3.5.6	Transferências de Dados de Baixa Prioridade	30
2.4	Sumário	31
 Capítulo 3		33
QoS NA PERSPECTIVA DO UTILIZADOR		33
3.1	Introdução	34
3.2	Serviços de Comunicações Móveis Mais Comuns	38
3.3	Parâmetros/Indicadores de QoS	39
3.3.1	Independentes do Serviço	40
3.3.1.1	Disponibilidade da Rede Radioeléctrica (GSM/WCDMA)	40
3.3.1.2	Acessibilidade da Rede (GSM/WCDMA).....	40
3.3.2	Serviços de Telefonia	41
3.3.2.1	Acessibilidade do Serviço (voz/videotelefonia).....	41
3.3.2.2	Tempo de Estabelecimento de Chamadas (voz/videotelefonia).....	41
3.3.2.3	Taxa de Estabelecimento da Comunicação Áudio/Vídeo (videotelefonia).....	41
3.3.2.4	Tempo de Estabelecimento da Comunicação Áudio/Vídeo (videotelefonia)	42
3.3.2.5	Taxa de Terminação de Chamadas (voz/videotelefonia)	42
3.3.2.6	Qualidade Áudio de Chamada (voz/videotelefonia)	42
3.3.2.7	Qualidade Vídeo de Chamada (videotelefonia)	45
3.3.2.8	Sincronismo Áudio/Vídeo de Chamada (videotelefonia)	47
3.3.2.9	Latência de Transmissão de Áudio (voz/videotelefonia).....	48

3.3.2.10	Variação da Latência de Transmissão de Áudio (voz/videotelefonia)	48
3.3.2.11	Latência de Transmissão de Vídeo (videotelefonia)	48
3.3.2.12	Variação da Latência de Transmissão de Vídeo (videotelefonia)	49
3.3.2.13	Perda de Informação (voz/videotelefonia)	49
3.3.3	SMS – Serviço de Mensagens Curtas	49
3.3.3.1	Acessibilidade do Serviço SMS	49
3.3.3.2	Tempo de Envio de SMS	50
3.3.3.3	Tempo de Entrega de SMS	50
3.3.3.4	Taxa de Entrega de SMS	50
3.3.4	MMS – Serviço de Mensagens Multimédia	51
3.3.4.1	Taxa de Envio de MMS	51
3.3.4.2	Velocidade de Envio de MMS	51
3.3.4.3	Taxa de Notificação de MMS	51
3.3.4.4	Taxa de Recepção de MMS	52
3.3.4.5	Velocidade de Recepção de MMS	52
3.3.4.6	Taxa de Entrega de MMS	52
3.3.4.7	Tempo de Entrega de MMS	53
3.3.5	HTTP <i>browsing</i> , FTP <i>upload/download</i> , E-Mail <i>send/receive</i>	53
3.3.5.1	Taxa de Estabelecimento de Sessões de Dados	53
3.3.5.2	Tempo de Estabelecimento de Sessões de Dados	54
3.3.5.3	Acessibilidade do Serviço (HTTP/FTP/E-Mail)	54
3.3.5.4	Tempo de Estabelecimento de Acesso ao Serviço (HTTP/FTP/e-mail)	55
3.3.5.5	Taxa de Terminação de Sessões de Utilização do Serviço (HTTP/FTP/e-mail)	55
3.3.5.6	Velocidade de Transferência de Dados (HTTP/FTP/e-mail)	55
3.3.5.7	Latência de Transmissão de dados (HTTP/FTP/e-mail)	56
3.3.5.8	Variação da Latência de Transmissão de dados (HTTP/FTP/e-mail)	56
3.3.5.9	Perda de Informação (HTTP/FTP/e-mail)	56
3.4	Perfis de Medida	57
3.4.1	Disponibilidade das Redes Radioelétricas	60
3.4.2	Serviços de Telefonia	60
3.4.2.1	Serviço de Voz	61
3.4.2.2	Serviço de Videotelefonia	62
3.4.3	Serviços de Mensagens	63
3.4.3.1	SMS – Serviço de Mensagens Curtas	64
3.4.3.2	MMS – Serviço de Mensagens Multimédia	64
3.4.4	Serviços de Dados	65
3.4.4.1	HTTP <i>browsing</i>	68
3.4.4.2	FTP <i>upload/download</i>	68
3.4.4.3	Envio/Recepção de <i>e-mail</i>	69
3.4.4.4	<i>Ping</i>	69
3.5	Perspectiva de Análise Inter-Redes	70
3.6	Conclusão	72

Capítulo 4	73
CASO DE ESTUDO	73
4.1 Introdução	74
4.2 Sistema de Medida e Pós-processamento	75
4.3 Resultados e Análise	77
4.3.1 Disponibilidade das Redes Radioelétricas (GSM/WCDMA)	77
4.3.2 Serviço de Voz (GSM)	78
4.3.3 Serviço de Videotelefonia (UMTS)	81
4.3.4 SMS – Serviço de Mensagens Curtas (GSM/GPRS/UMTS)	85
4.3.5 MMS – Serviço de Mensagens Multimédia (GSM/GPRS/UMTS)	87
4.3.6 Sessões de Dados (GPRS/UMTS)	90
4.3.7 HTTP <i>browsing</i> (GPRS/UMTS)	91
4.3.8 FTP <i>upload</i> e <i>download</i> (GPRS/UMTS)	92
4.3.9 Envio e Recepção de E-Mail (GPRS/UMTS)	95
4.3.10 <i>Ping</i>	97
4.4 Conclusões	99
 Capítulo 5	 103
CONCLUSÕES	103
5.1 Discussão	104
5.2 Trabalho Futuro	107
 Bibliografia	 109

Lista de Figuras

Figura 1-1 – Evolução da utilização mundial de tecnologias móveis [Wireless Intelligence, 2007]	5
Figura 1-2 – Evolução da utilização da tecnologia GSM [Wireless Intelligence, 2007]	5
Figura 1-3 – Evolução da utilização da tecnologia WCDMA [Wireless Intelligence, 2007]	6
Figura 2-1 – Sistema GSM de referência [Chevallier <i>et al.</i> , 2006]	13
Figura 2-2 – Faixas de frequências para sistemas 3G [UMTS World, 2007]	17
Figura 2-3 – Sistema UMTS de referência [Chevallier <i>et al.</i> , 2006]	18
Figura 2-4 – Serviços básicos de telecomunicações suportados por uma rede móvel [ETSI TS 122 105]	24
Figura 2-5 – Agrupamento de aplicações em termos de requisitos de QoS [ETSI TS 122 105]	27
Figura 3-1 – Relação entre Satisfação do Utilizador, Qualidade de Serviço e Desempenho da Rede [ETSI TS 102 250-1]	35
Figura 3-2 – Diagrama funcional do algoritmo <i>VQuad</i> (Cortesia SwissQual, AG)	46
Figura 4-1 – Arquitectura do Sistema <i>Seven.Five</i>	76
Figura 4-2 – Função Densidade de Probabilidade do indicador <i>Cobertura Radioeléctrica</i> , em GSM	77
Figura 4-3 – Função Densidade de Probabilidade do indicador <i>Cobertura Radioeléctrica</i> , em WCDMA	78
Figura 4-4 – Indicadores <i>Acessibilidade de Serviço</i> e <i>Taxa de Terminação de Chamadas</i> , do serviço de voz	79
Figura 4-5 – Indicador <i>Tempo de Estabelecimento de Chamadas</i> , do serviço de voz	79
Figura 4-6 – Indicador <i>Qualidade Áudio de Chamadas</i> , do serviço de voz	80
Figura 4-7 – Função Densidade de Probabilidade do indicador <i>Qualidade Áudio de Chamadas</i> , do serviço de voz (Móvel→Fixo)	80
Figura 4-8 – Função Densidade de Probabilidade do indicador <i>Qualidade Áudio de Chamadas</i> , do serviço de voz (Fixo→Móvel)	80

Figura 4-9 – Indicadores <i>Acessibilidade de Serviço</i> e <i>Taxa de Terminação de Chamadas</i> , do serviço de videotelefonia	82
Figura 4-10 – Indicador <i>Tempo de Estabelecimento de Chamadas</i> , do serviço de videotelefonia	82
Figura 4-11 – Indicador <i>Qualidade Áudio de Chamadas</i> , do serviço de videotelefonia ...	83
Figura 4-12 – Função Densidade de Probabilidade do indicador <i>Qualidade Áudio de Chamadas</i> , do serviço de videotelefonia	83
Figura 4-13 – Indicador <i>Qualidade Vídeo de Chamadas</i> , do serviço de videotelefonia ...	84
Figura 4-14 – Função Densidade de Probabilidade do indicador <i>Qualidade Vídeo de Chamadas</i> , do serviço de videotelefonia	84
Figura 4-15 – Função Densidade de Probabilidade do indicador <i>Tempo de Entrega de SMS</i>	86
Figura 4-16 – <i>Tempo de entrega de SMS</i> , ao longo do dia	87
Figura 4-17 – Taxas de <i>Envio</i> , <i>Notificação</i> , <i>Recepção</i> e <i>Entrega</i> de MMS	88
Figura 4-18 – Função Densidade de Probabilidade do indicador <i>Tempo de Entrega de MMS</i>	89
Figura 4-19 – <i>Tempo de Entrega de MMS</i> , ao longo do dia	89
Figura 4-20 – <i>Velocidade de Envio de MMS</i> , ao longo do dia	90
Figura 4-21 – <i>Velocidade de Recepção de MMS</i> , ao longo do dia	90
Figura 4-22 – Função Densidade de Probabilidade do indicador <i>Velocidade de Transferência de Dados HTTP</i>	91
Figura 4-23 – <i>Velocidade de Transferência de Dados HTTP</i> , ao longo do dia	92
Figura 4-24 – Função Densidade de Probabilidade do indicador <i>Velocidade de Transferência de Dados FTP</i> , em <i>upload</i>	93
Figura 4-25 – Função Densidade de Probabilidade do indicador <i>Velocidade de Transferência de Dados FTP</i> , em <i>download</i>	93
Figura 4-26 – <i>Velocidade de Transferência de Dados FTP</i> em <i>upload</i> , ao longo do dia..	94
Figura 4-27 – <i>Velocidade de Transferência de Dados FTP</i> em <i>download</i> , ao longo do dia	94
Figura 4-28 – Função Densidade de Probabilidade do indicador <i>Velocidade de Transferência de E-Mail</i> , em <i>envio</i>	95
Figura 4-29 – Função Densidade de Probabilidade do indicador <i>Velocidade de Transferência de E-Mail</i> , em <i>recepção</i>	96
Figura 4-30 – <i>Velocidade de Envio de E-Mail</i> , ao longo do dia	96
Figura 4-31 – <i>Velocidade de Recepção de E-Mail</i> , ao longo do dia	97
Figura 4-32 – Função Densidade de Probabilidade do indicador <i>Ping RTT</i>	98
Figura 4-33 – <i>Ping RTT</i> , ao longo do dia	98

Lista de Tabelas

Tabela 2-1 – Algumas das funcionalidades introduzidas em cada <i>Release</i> das normas UMTS	21
Tabela 2-2 – Expectativas de desempenho de serviços de conversação/tempo real [ETSI TS 122 105].....	28
Tabela 2-3 – Expectativas de desempenho de serviços interactivos [ETSI TS 122 105]...	29
Tabela 2-4 – Expectativas de desempenho de serviços <i>Streaming</i> [ETSI TS 122 105].....	30
Tabela 3-1 – Escala MOS_LQO / MOS_VQO	43
Tabela 4-1 – Resultados da análise da cobertura radioelétrica GSM e WCDMA.....	77
Tabela 4-2 – Resultados da análise do serviço de voz	78
Tabela 4-3 – Resultados da análise do serviço de videotelefonia	81
Tabela 4-4 – Resultados da análise do serviço de mensagens SMS.....	86
Tabela 4-5 – Resultados da análise do serviço de mensagens MMS	88
Tabela 4-6 – Sessões de Dados Realizadas	90
Tabela 4-7 – Resultados da análise do serviço HTTP <i>browsing</i>	91
Tabela 4-8 – Resultados da análise do serviço de transferência de informação FTP.....	92
Tabela 4-9 – Resultados da análise do serviço de <i>E-Mail</i>	95
Tabela 4-10 – Resultados da análise <i>Ping RTT</i>	97

Capítulo 1

INTRODUÇÃO

Este capítulo apresenta o objectivo deste trabalho bem como o seu enquadramento no contexto actual dos sistemas de comunicações móveis, em particular no contexto português.

Apresenta-se ainda a forma como esta dissertação se encontra organizada.

1.1 ENQUADRAMENTO E OBJECTIVOS

Nos anos 70, surgiram as primeiras ofertas comerciais bem sucedidas de telefonia móvel. Na década seguinte, ocorreu o primeiro grande desenvolvimento dos sistemas telefónicos móveis, com o aparecimento de vários sistemas analógicos que tiveram boa aceitação no mercado e cresceram rapidamente. Estes sistemas de comunicações móveis ficaram conhecidos como sistemas de primeira geração (1G) [Mouly e Pautet, 1992] [Holma e Toskala, 2000] [UMTS World, 2007].

Nesta fase, a especificidade de cada sistema tornava-o incompatível com os outros, tanto nos aspectos de operação como na utilização de equipamentos terminais, o que tornava impossível a interligação de redes, confinando-se a utilização dos serviços às fronteiras de cada país. Por outro lado, face ao reduzido mercado de cada tipo de equipamento terminal, não foi possível atingir economias de escala e as consequentes reduções de custos.

Apercebendo-se desta situação, a Europa reagiu e em 1982, no seio da *Conférence Européenne des Administrations des Postes et des Télécommunications* (CEPT), criou um grupo de trabalho – *Groupe Spéciale Mobile* (GSM) – para desenvolver um sistema de comunicações móveis pan-Europeu [Mouly e Pautet, 1992] [GSM Association, 2007].

O sistema devia obedecer a alguns critérios, tais como [Mouly e Pautet, 1992]:

- Boa qualidade do serviço de voz;
- Serviços e equipamentos terminais de baixo custo;
- Possibilidade de *roaming* internacional;
- Capacidade de utilização de terminais móveis (*handheld*);
- Suporte de novos serviços e facilidades;
- Eficiência espectral;
- Compatibilidade com RDIS – Rede Digital com Integração de Serviços.

Em 1989, o recentemente criado ETSI (*European Telecommunications Standards Institute*) assumiu a coordenação do grupo GSM e, em 1990-91, são publicadas as primeiras

especificações técnicas GSM (Fase 1) [Mouly e Pautet, 1992] [GSM Association, 2007]. Foi assim aberta a porta a uma segunda geração (2G) de comunicações móveis.

A oferta comercial de serviços iniciou-se em meados de 1991 e em 1993 já existiam 32 redes GSM a operar em 18 países, onde se incluíam a *Telecel – Comunicações Pessoais, S.A.* (actualmente *Vodafone Portugal – Comunicações Pessoais, S.A.*) e a *TMN – Telecomunicações Móveis Nacionais, S. A.* em Portugal.

Em 1998, quando o número de utilizadores em todo o mundo ultrapassava os 100 milhões, um novo operador entra no mercado português, a *Optimus Telecomunicações, S. A.* [GSM Association, 2007] [ANACOM, 2007a].

O sistema GSM alterou o tradicional serviço telefónico, acrescentando-lhe mobilidade, transformando-se num sucesso comercial para fabricantes de tecnologia e operadores, que obtiveram crescimentos exponenciais até ao final da década de 90. Nesta altura, o número de utilizadores do serviço telefónico móvel superava, em muitos países, o tradicional serviço telefónico fixo.

Além do serviço telefónico móvel, outros serviços inovadores foram bem aceites pelos consumidores e conheceram elevadas taxas de crescimento. Destacam-se os serviços de mensagens curtas (*SMS – Short Message Service*), o serviço de mensagens multimédia (*MMS – Multimedia Messaging Service*) e o acesso a serviços de dados suportados em GPRS (*General Packet Radio Service*).

Enquanto a tecnologia GSM ultrapassava as fronteiras da Europa e se tornava no sistema de comunicações móveis de maior sucesso a nível mundial, o ITU (*International Telecommunications Union*) lançava um projecto ambicioso: uma federação de sistemas de comunicações móveis de terceira geração (3G) que permitisse o acesso continuado à infra-estrutura global de telecomunicações, por qualquer pessoa e em qualquer lugar (*“Anyone, Anytime, Anywhere”*) [Prasad *et al.*, 2000].

Este projecto, designado IMT-2000 (*International Mobile Telecommunications-2000*), identificou os factores essenciais para o sucesso dessa nova geração de comunicações móveis:

- Acesso de alto débito, para suporte de serviços de banda larga, tais como, acesso à

Internet e aplicações multimédia;

- Flexibilidade, permitindo novos tipos de serviço, tais como, número pessoal universal e telefonia via satélite;
- Baixos custos de serviços e terminais, tal como no GSM ou ainda menores;
- Compatibilidade com as redes móveis existentes constituindo uma evolução destas.

Um dos mais importantes membros da família IMT-2000 é o UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*), sendo a sua especificação assegurada pelo 3GPP (*Third Generation Partnership Project*), entidade resultante de um acordo de parceria estabelecido entre vários organismos internacionais. Actualmente os parceiros são o *ETSI-European Telecommunications Standards Institute*, *ARIB-Association of Radio Industries and Businesses (Japan)*, *CCSA-China Communications Standards Association*, *ATIS-Alliance for Telecommunications Industry Solutions (USA)*, *TTA-Telecommunications Technology Association (Korea)* e *TTC-Telecommunication Technology Committee (Japan)* [3GPP, 2007].

O UMTS é uma evolução do GSM/GPRS, que utiliza o WCDMA (*Wideband Code Division Multiple Access*) como tecnologia radioelétrica de acesso, sendo actualmente a principal tecnologia 3G em todo o mundo. A compatibilidade do sistema UMTS com o sistema GSM torna possível a interoperabilidade de serviços.

Além dos serviços suportados pelo GSM (voz, SMS, MMS, etc.), o UMTS acrescenta mobilidade a serviços multimédia (videotelefonia, videostreaming, videoconferência, televisão móvel, etc.) e permite o acesso à Internet e outros serviços de dados com ritmos de transmissão mais elevados do que os permitidos pelo GSM/GPRS.

A oferta comercial de serviços suportados nesta tecnologia começou no Japão em 2001 [GSM Association, 2007]. Na Europa, atrasos da indústria na estabilização da tecnologia só permitiram o arranque das ofertas comerciais nos anos seguintes. Em Portugal, as três redes UMTS, detidas pelos operadores OPTIMUS, TMN e VODAFONE, iniciaram a oferta comercial de serviços no primeiro semestre de 2004 [ANACOM, 2007a].

Os sistemas de comunicações móveis GSM e UMTS/WCDMA são actualmente as tecnologias móveis mais utilizadas. A tecnologia GSM é utilizada por aproximadamente

29% da população mundial e representa mais de 80% do mercado móvel global (Figura 1-1 e Figura 1-2). Existem mais de 784 redes em funcionamento em mais de 210 países [GSM Association, 2007].

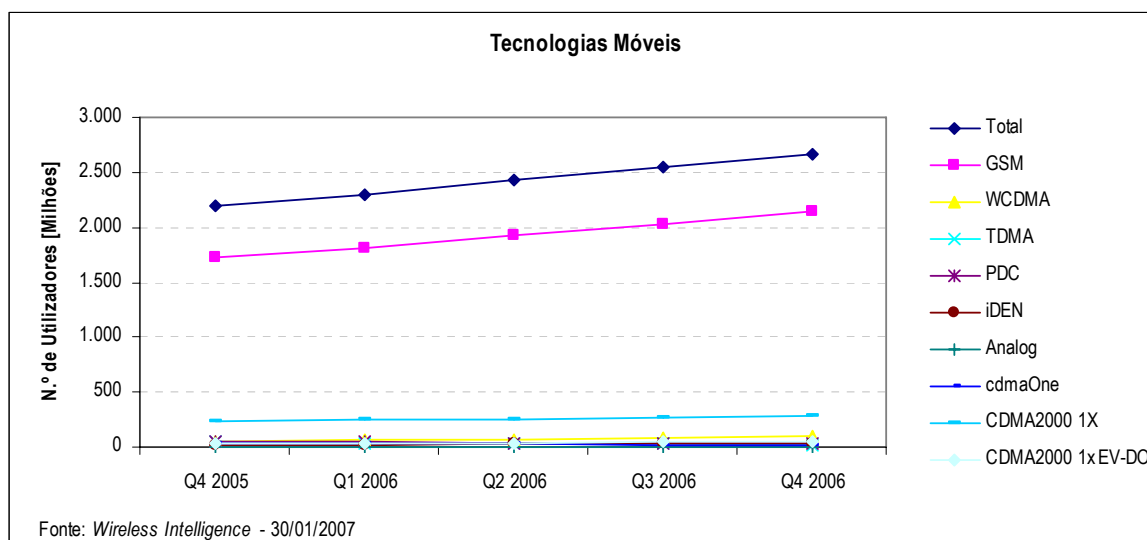


Figura 1-1 – Evolução da utilização mundial de tecnologias móveis [Wireless Intelligence, 2007]

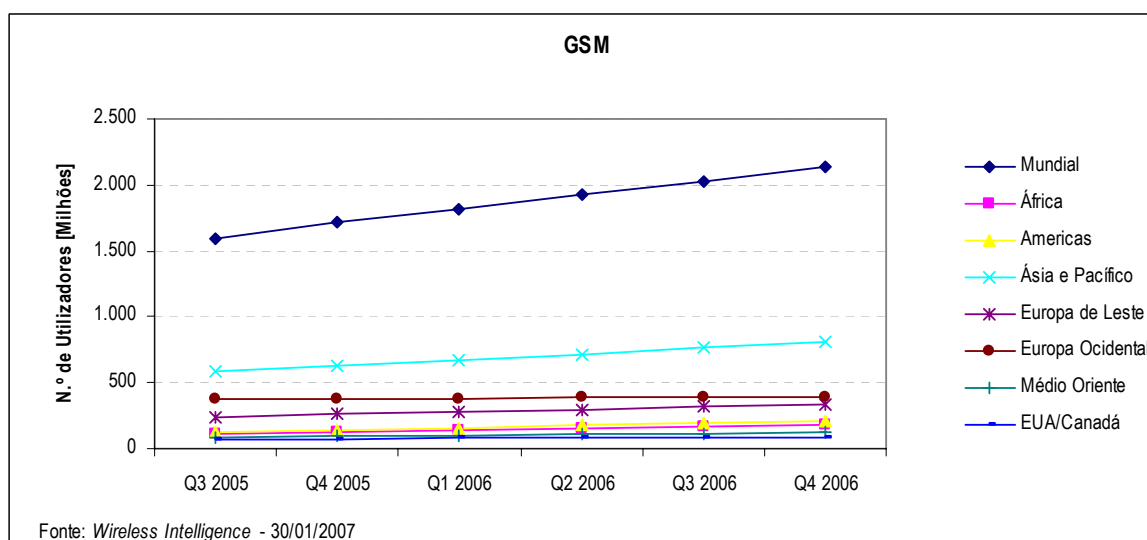


Figura 1-2 – Evolução da utilização da tecnologia GSM [Wireless Intelligence, 2007]

Em Março de 2006, o número de redes UMTS/WCDMA em funcionamento em mais de 60 países ascendia a 146, sendo o número de utilizadores superior a 100 milhões em todo o mundo (Figura 1-1 e Figura 1-3) [GSM Association, 2007] [UMTS Forum, 2007].

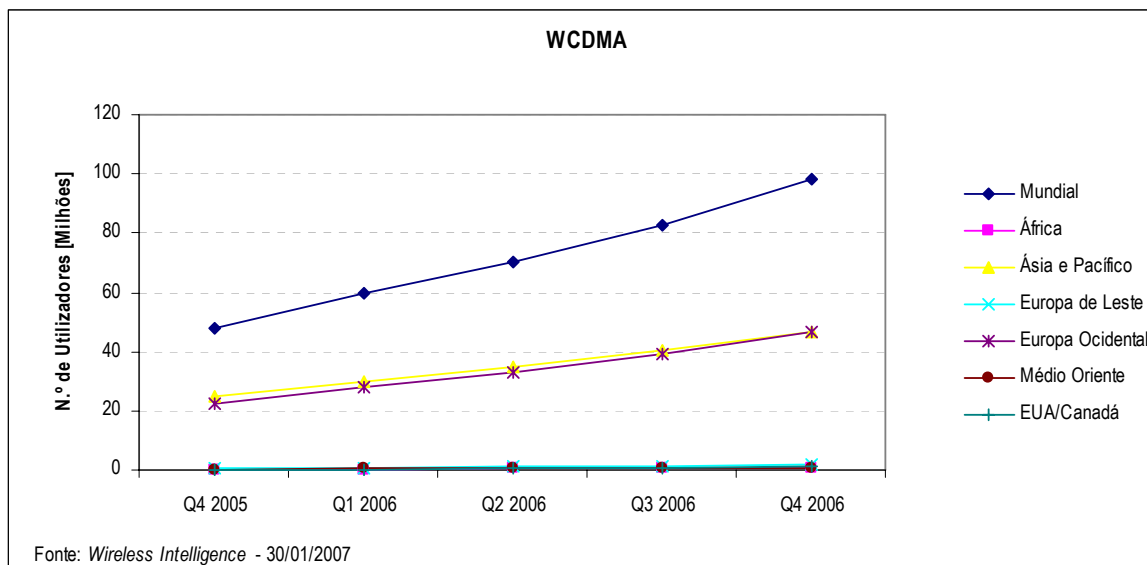


Figura 1-3 – Evolução da utilização da tecnologia WCDMA [Wireless Intelligence, 2007]

Em Portugal, o número de assinantes dos serviços móveis suportados nas tecnologias GSM e UMTS é superior a 12 milhões. Nestas redes são originadas mensalmente mais de 570 milhões de chamadas de voz, com uma duração média de 112 segundos, e são enviadas mais de 1.100 milhões de SMS. Em média, cada utilizador envia mensalmente 93 SMS e estabelece 47 chamadas de voz, das quais 32 são do tipo móvel-móvel intra-rede [ANACOM, 2007b].

Os serviços de voz e SMS são os mais utilizados, no entanto assiste-se a um crescimento acentuado da utilização de outros serviços como a videotelefonia e o acesso de banda larga à Internet. Actualmente, todos os operadores móveis portugueses apresentam ofertas comerciais de banda larga, com ritmos de *download* até 3,6 Mbps e preparam o lançamento de ofertas até 7,2 Mbps.

Nos sistemas de comunicações móveis GSM e UMTS, a qualidade de serviço (*Quality of Service – QoS*) na perspectiva do utilizador assume uma importância fundamental, em particular pela natureza rádio do acesso, pela mobilidade que possibilitam e pela taxa de utilização que apresentam.

Bosko Novak, Vice-Presidente Sénior e Director Geral da *Nokia Networks* na Alemanha [Mishra, 2007], afirma mesmo que:

“The true challenge of the future, however, does not lie in bringing even higher speeds into the networks or in connecting even more people faster. In my mind the real engineering masterpiece will be to create superior quality-of-experience for the end-user. Consumers are not interested at all in three- or four-letter abbreviation, let alone in understanding how they work. Consumers want ease-of-use and superior quality – anytime and anywhere”.

A medição da qualidade de serviço, em particular na perspectiva do utilizador, é de vital importância para a gestão e optimização do desempenho de uma rede móvel, permitindo aos operadores fornecer serviços de qualidade sem sobredimensionar a sua infra-estrutura. Para o utilizador, os indicadores de qualidade das redes móveis permitem-lhe optar pela rede que melhor corresponde às suas necessidades.

Operadores móveis que, na perspectiva do utilizador, disponibilizam serviços com qualidade superior apresentam vantagens competitivas em relação aos concorrentes que menosprezam este aspecto. Estudos de mercado [Soldani *et al.*, 2006] evidenciam que a frustração dos consumidores face à qualidade do serviço é responsável por cerca de 82% das mudanças de rede. Observa-se também um efeito de cadeia, pois 1 cliente insatisfeito conta, em média, a 13 pessoas a sua má experiência. Os operadores também não podem esperar pelas reclamações dos clientes para tomar medidas correctivas, visto que por cada cliente que reclama existem outros 29 que nunca o fazem e que simplesmente mudam de operador quando se sentem insatisfeitos. Estas desistências afectam as receitas e a imagem dos operadores. Assim, a forma de prevenir estas situações passa por uma estratégia que contemple a constante monitorização e melhoria da qualidade de serviço, tal como ela é sentida pelos utilizadores.

Outras entidades, como os reguladores sectoriais, podem realizar estudos independentes de avaliação da QoS na perspectiva do utilizador, de forma a dotar o mercado, em especial os consumidores, de informação isenta sobre o desempenho dos serviços de telecomunicações suportados nos sistemas de comunicações móveis presentes no mercado.

A QoS na perspectiva do utilizador pode ser avaliada através de três mecanismos diferentes e complementares:

- Reclamações dos clientes;

- Estatísticas de rede (medições efectuadas em elementos da rede);
- Testes de campo (*Drive-Tests* e/ou *Walk-Tests*, realizados com equipamentos terminais comerciais, utilizando os serviços numa lógica de utilizador comum).

As reclamações dos clientes e a análise de estatísticas de rede permitem identificar problemas, enquanto que os testes de campo permitem verificar esses problemas, identificar as causas e conduzir às soluções.

A realização de testes de campo (*drive-tests*), embora onerosa, é a abordagem que apresenta mais vantagens, permitindo que a análise dos serviços seja feita de forma independente do funcionamento das próprias redes móveis. Por exemplo, áreas com cobertura radioelétrica deficiente ou mesmo ausente são também consideradas na análise, possibilitando que os resultados do estudo se traduzam num bom indicador do comportamento global das redes na perspectiva de utilizador. Este é também o melhor método para efectuar análises comparativas do desempenho de vários operadores (*benchmarking*).

Neste contexto, são objectivos desta dissertação:

- Definir indicadores de QoS na perspectiva do utilizador para os serviços mais comuns (os mais utilizados) suportados em sistemas celulares GSM e UMTS;
- Estabelecer as condições de medida e realização de testes (uma metodologia de teste e análise);
- Validação e avaliação desses indicadores e metodologia através da realização de testes de campo (*drive-tests*).

1.2 ORGANIZAÇÃO DA DISSERTAÇÃO

Além deste primeiro capítulo introdutório, esta dissertação encontra-se organizada em mais quatro capítulos.

No segundo capítulo é feita uma caracterização sumária dos sistemas de comunicações móveis GSM e UMTS, do ponto de vista tecnológico. São também caracterizados os serviços de comunicações móveis mais comuns, identificando as várias classes de QoS bem como as expectativas dos utilizadores nesta matéria.

O terceiro capítulo procura responder aos principais objectivos deste trabalho. É clarificado o conceito de QoS numa perspectiva de utilizador e são definidos os indicadores/parâmetros que permitem quantificar essa qualidade. São ainda estabelecidas as condições em que devem ser feitas as análises de qualidade para que os resultados reflectam a qualidade efectiva dos serviços.

No quarto capítulo é feita a validação dos indicadores e perfis de medida, caracterizados nos capítulos anteriores, através da realização de um estudo real. São analisados os serviços de voz, videotelefonia, SMS, MMS, FTP *upload* e *download*, HTTP *browsing*, envio e recepção de *E-Mail* e também a disponibilidade das redes radioeléctricas (cobertura) GSM e WCDMA de dois operadores portugueses.

Por fim, no quinto capítulo são apresentadas e discutidas as principais conclusões resultantes do trabalho efectuado. São ainda traçadas algumas possibilidades de desenvolvimento futuro no campo da QoS de redes e serviços móveis, sempre numa perspectiva de utilizador.

Capítulo 2

SISTEMAS E SERVIÇOS DE COMUNICAÇÕES MÓVEIS

Neste capítulo é feita uma breve caracterização técnica dos sistemas de comunicações móveis GSM e UMTS.

São também caracterizados os serviços de comunicações móveis mais comuns, identificando as várias classes de QoS bem como as expectativas dos utilizadores neste contexto.

2.1 SISTEMA CELULAR GSM

As primeiras especificações (Fase 1) do sistema de comunicações móveis GSM foram desenvolvidas nos anos 80 e fechadas em 1991. Nesse mesmo ano iniciaram-se as ofertas comerciais de serviços [Mouly e Pautet, 1992].

O sistema celular GSM é actualmente o sistema de comunicações móveis de maior sucesso. As mais de 784 redes em funcionamento, em mais de 210 países, prestam serviços a cerca de 29% da população mundial, o que representa mais de 80% de todo o mercado global de comunicações móveis [GSM Association, 2007]. O GSM é um sistema celular digital que utiliza o meio radioelétrico na rede de acesso. Utiliza frequências diferentes para assegurar o modo duplex (*Frequency Division Duplex – FDD*) e combina técnicas de divisão na frequência (*Frequency Division Multiple Access – FDMA*) e divisão no tempo (*Time Division Multiple Access – TDMA*) para permitir o acesso simultâneo a múltiplos utilizadores.

O sistema GSM opera em várias bandas de frequências, sendo as principais nos 900 MHz e/ou 1800 MHz. Na banda dos 900 MHz, a comunicação no sentido do equipamento terminal móvel para a estação de base (*uplink*) ocorre na faixa 890-915 MHz. No sentido oposto (*downlink*), a comunicação ocorre na faixa 935-960 MHz. Tanto no *uplink* como no *downlink*, a banda de frequências é de 25 MHz, subdividida em 124 portadoras de 200 kHz. Cada uma destas portadoras pode acomodar oito canais de voz por divisão no tempo (TDMA).

O raio de cobertura das células em GSM depende de diversos factores, tais como, a altura e o ganho da antena, as condições de propagação, entre outros. Nas redes comerciais, o raio das células pode variar entre as dezenas de metros, em coberturas no interior de edifícios, até às dezenas de quilómetros, em zonas rurais com baixa densidade de utilizadores.

2.1.1 ARQUITECTURA DO SISTEMA CELULAR GSM

Os principais componentes de um sistema móvel são a infra-estrutura e os utilizadores dos serviços.

Nas redes actuais, a infra-estrutura pode ser subdividida em cinco blocos principais:

1. Estação Móvel (*MS – Mobile Station*);
2. Rede Radioelétrica (*BSS – Base Station Sub-system*);
3. Rede Core e Comutação (*NSS – Network and Switching Sub-system*);
4. Rede Core GPRS (*GPRS-CN – General Packet Service Core Network*);
5. Operação e Manutenção (*OSS – Operation Sub-system*).

Estes blocos encontram-se representados na Figura 2-1 e descritos nas secções seguintes.

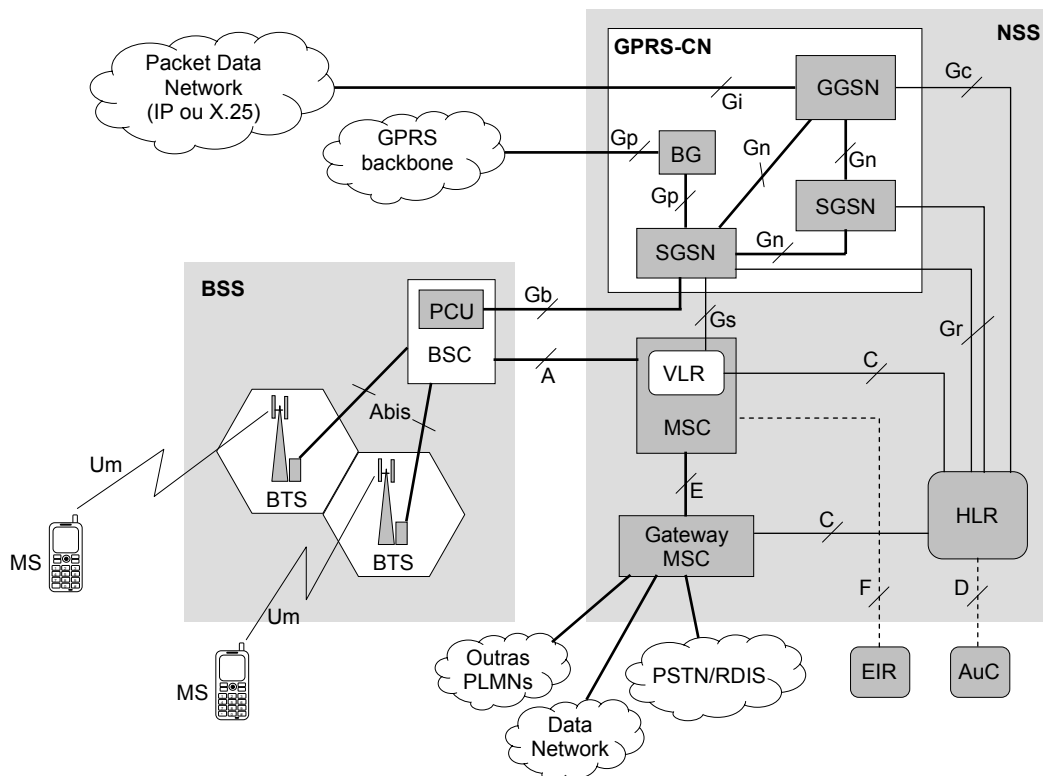


Figura 2-1 – Sistema GSM de referência [Chevallier *et al.*, 2006]

2.1.1.1 ESTAÇÃO MÓVEL (MS)

A estação móvel é o equipamento que faz a interface entre a rede e o utilizador, permitindo o acesso e utilização dos serviços. Os dois principais componentes de uma estação móvel são o equipamento terminal móvel (*ME – Mobile Equipment*) e o cartão SIM (*SIM – Subscriber Identity Module*).

Cada equipamento terminal móvel apresenta uma identificação internacional única designada por IMEI (*International Mobile Station Equipment Identity*).

O cartão SIM armazena parâmetros específicos do assinante e informação particular do utilizador dos serviços móveis. Apresenta ainda elementos de identificação: o IMSI (*International Mobile Subscriber Identity*) e o MSISDN (*Mobile Subscriber ISDN Number*). O IMSI identifica o assinante internacionalmente. Uma estação móvel só pode ser utilizada numa rede móvel se um cartão SIM com um IMSI válido for inserido num equipamento terminal móvel com um IMEI válido. O MSISDN é o número comum de telefone. Um cartão SIM pode ter vários MSISDN para selecção de diferentes serviços (voz, dados, fax, etc.)

2.1.1.2 REDE RADIOELÉCTRICA (BSS)

Este subsistema é responsável pelo controlo da interface radioelétrica, sendo composto pelas Estações de Base (*BTS – Base Transceiver Station*) e pelo Controlador das Estações de Base (*BSC – Base Station Controller*). As BTS e BSC interagem com os terminais móveis (MS), disponibilizando e controlando a atribuição e utilização dos canais radioelétricos de sinalização e tráfego dentro das células.

A inclusão da funcionalidade de comutação de pacotes no sistema GSM, com a implementação do GPRS (*General Packet Data Service*), exigiu a inclusão de um nó adicional na rede de acesso – a unidade de controlo de pacotes (*PCU – Packet Control Unit*) – que interage directamente com o GPRS-CN (*GPRS – Core Network*).

A interacção deste subsistema (BSS) com o subsistema de rede e comutação (NSS) é feito através das interfaces *A*, para serviços em comutação de circuitos, e *Gb*, para serviços em comutação de pacotes.

O conjunto de todos os BSS que fazem parte de uma determinada rede GSM é designado, desde a introdução do sistema UMTS, por GERAN (*GSM/EDGE Radio Access Network*).

2.1.1.3 REDE CORE E COMUTAÇÃO (NSS)

Este subsistema inclui os elementos de comutação (de circuitos) e as bases de dados

necessárias para a gestão dos assinantes e mobilidade. A sua principal função é a gestão da comunicação entre os utilizadores GSM e utilizadores de outras redes.

O elemento central deste subsistema é o comutador (*MSC – Mobile Switching Centre*) responsável pelo estabelecimento, encaminhamento e terminação de chamadas, bem como a gestão de *handovers* entre dois BSCs.

A *Gateway MSC* (GMSC) permite a interligação entre o sistema GSM e outras redes, fixas ou móveis.

Entre as bases de dados que fazem parte deste subsistema encontram-se duas que assumem particular relevância: a *Home Location Register* (HLR) e a *Visitor Location Register* (VLR). Normalmente existe uma HLR por rede móvel e uma VLR por MSC. A HLR guarda a identificação, o perfil de serviços e outras informações de cada assinante de uma rede móvel, independentemente da sua localização actual. Mantém ainda alguma informação relativa à localização dos assinantes. Os dados de um assinante são mantidos nesta base de dados enquanto este permanecer como cliente do operador detentor da rede. Por seu lado, a VLR é uma base de dados onde são temporariamente guardados os dados dos assinantes que se encontram (“visitam”) na área de influência do correspondente MSC. Inclui ainda informações precisas sobre a localização desses assinantes.

Duas bases de dados adicionais são responsáveis por vários aspectos de segurança. Associada à HLR encontra-se a *Authentication Centre/Register* (AuC) que assegura a autenticação dos assinantes e gestão da segurança das comunicações. Por sua vez, a *Equipment Identity Register* (EIR) mantém uma lista de equipamentos terminais (identificados pelo seu IMEI) “banidos” pela rede ou que devem ser monitorizados, permitindo, por exemplo, bloquear o acesso ao serviço de terminais móveis roubados.

Além destes elementos, estão ainda presentes na maioria das redes os elementos seguintes:

- *SMSC – Short Message Service Centre*: elemento de suporte ao serviço de mensagens curtas (SMS);
- *MMSC – Multimedia Messaging Service Centre*: elemento de suporte ao serviço de mensagens multimédia (MMS);

- *VMS – Voicemail System*: elemento de suporte ao serviço de mensagens de voz (gravação e armazenamento);
- *BC – Billing Centre*: elemento dedicado à gestão de assinaturas, tarifação e contabilização.

2.1.1.4 REDE CORE GPRS (GPRS-CN)

Para permitir a funcionalidade da comutação de pacotes (GPRS) no sistema GSM, foram acrescentados dois novos nós no NSS: o *Serving GPRS Support Node* (SGSN) e o *Gateway GPRS Support Node* (GGSN).

No domínio da comutação de pacotes, o SGSN desempenha funções análogas às desempenhadas pelo MSC no domínio da comutação de circuitos. Pelo seu lado, as funções desempenhadas pelo GGSN são análogas às desempenhadas pelo GMSC, no domínio da comutação de circuitos. Estes nós recorrem às VLR e HLR para gestão da mobilidade e permissões dos assinantes (interfaces *Gs* e *Gr*, respectivamente).

O *Border Gateway* (BG) faz também parte do GPRS-CN, permitindo a interligação entre diferentes redes GPRS.

2.1.1.5 OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO (OSS)

A operação e a manutenção de uma rede GSM são asseguradas por este subsistema.

As funções de controlo da rede são iniciadas e monitorizadas a partir do *Operation and Maintenance Centre* (OMC), onde se incluem:

- Administração da rede e operações comerciais (assinantes, equipamentos terminais, tarifas, estatísticas);
- Gestão da segurança;
- Configurações da rede, operação e gestão do desempenho;
- Tarefas de manutenção.

2.2 SISTEMA CELULAR UMTS

O UMTS é um dos sistemas de comunicações móveis de terceira geração da família IMT-2000. As primeiras especificações deste sistema foram concluídas em 1999 (*Release 99*) e as primeiras redes comerciais entraram ao serviço em 2001, no Japão, e em 2004, em Portugal [GSM Association, 2007] [ANACOM, 2007a].

Este sistema é uma evolução do GSM/GPRS, que utiliza o WCDMA como tecnologia radioelétrica de acesso, sendo actualmente uma das principais tecnologias 3G em todo o mundo. A compatibilidade do sistema UMTS com o sistema GSM torna possível a interoperabilidade de serviços (v.g. *handover* GSM-UMTS e *vice-versa*).

Do ponto de vista de serviços, também existe uma mudança de paradigma. Enquanto que o GSM é um sistema orientado para a voz, o UMTS está orientado para serviços multimédia.

A operação em modo duplex é assegurada através da utilização de frequências diferentes (FDD) ou por divisão no tempo (TDD¹). Para aumentar a capacidade do sistema, ou seja, o número de utilizadores em simultâneo, são utilizadas técnicas de acesso múltiplo do tipo divisão por códigos (CDMA).

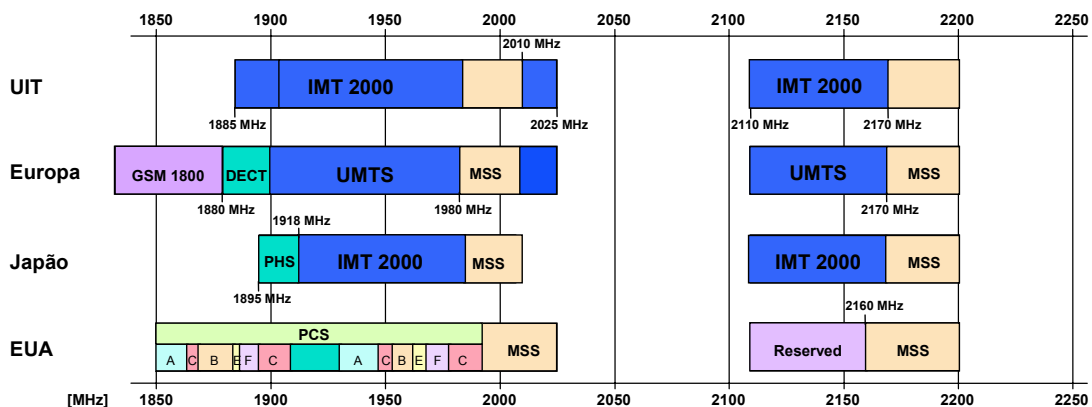


Figura 2-2 – Faixas de frequências para sistemas 3G [UMTS World, 2007]

¹ O modo TDD encontra-se fora do âmbito desta dissertação, pelo que qualquer referência a UMTS ou WCDMA tem subjacente o modo FDD.

Na WARC-92 (*World Administrative Radio Conference*) foram definidas as bandas de espectro para acomodar os sistemas IMT-2000 (Figura 2-2). Os sistemas UMTS FDD utilizam pares de canais de 5 MHz, um na faixa 1920-1980 MHz para *uplink* e outro na faixa 2110-2170 MHz para *downlink*. Em Maio de 2000, na ITU-R WRC-2000, foram identificadas faixas de frequências adicionais para suporte a sistemas 3G: 2500-2690 MHz, 806-960 MHz e 1710-1885 MHz.

2.2.1 ARQUITECTURA DO SISTEMA CELULAR UMTS

Quando se iniciou a implementação de redes de tecnologia WCDMA, a maioria dos operadores já explorava redes GSM. A tecnologia WCDMA foi integrada nos sistemas GSM existentes, permitindo uma transição evolutiva para os primeiros sistemas UMTS (*Release 99*).

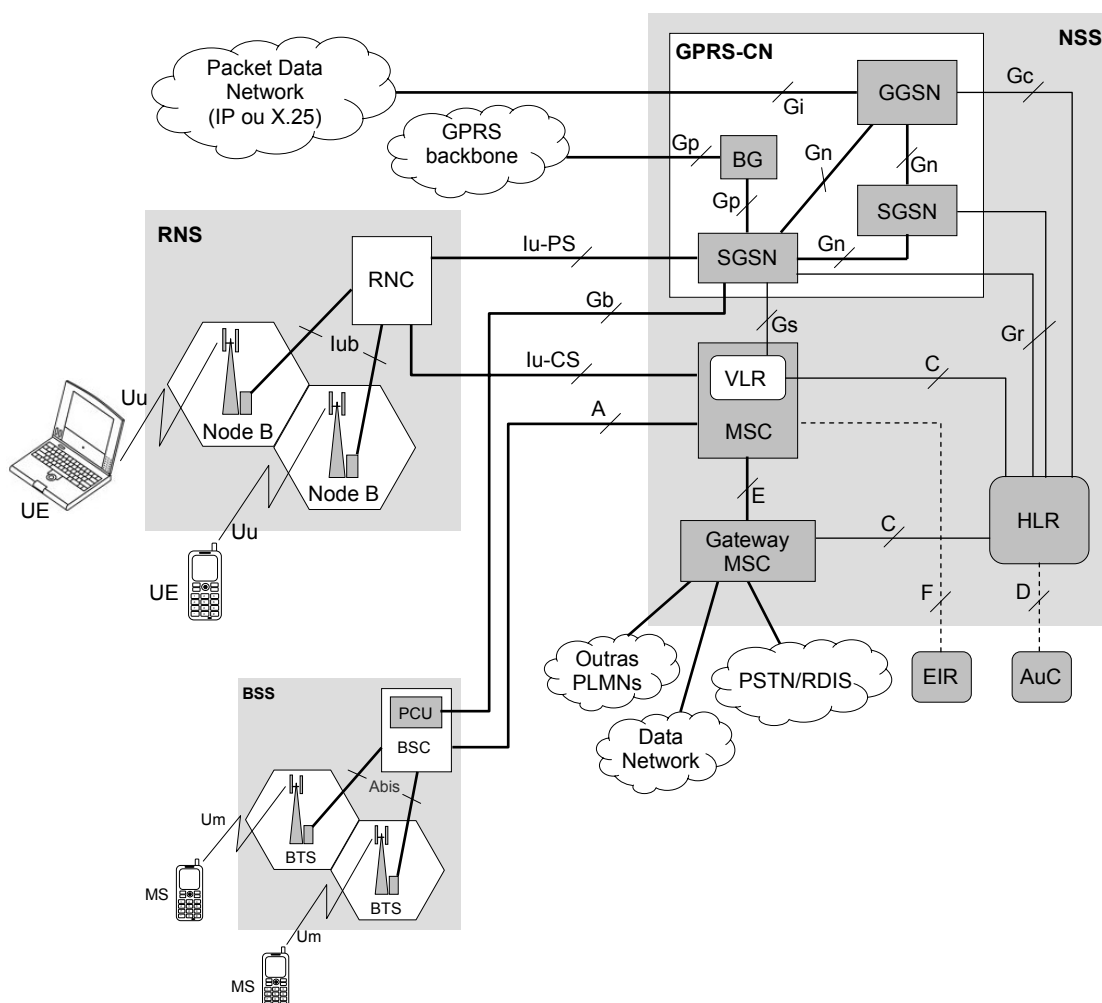


Figura 2-3 – Sistema UMTS de referência [Chevallier *et al.*, 2006]

Um sistema UMTS de referência partilha com o GSM muitos dos elementos dos subsistemas NSS e GPRS-CN. As mudanças profundas ocorrem na rede radioelétrica de acesso. Contudo, o subsistema BSS ou GERAN do GSM é mantido, na rede de referência UMTS, como complemento à nova rede radioelétrica de acesso, designada *Universal Terrestrial Radio Access Network* (UTRAN).

Os principais blocos do sistema de comunicações UMTS encontram-se representados na Figura 2-3 e descritos nas secções seguintes.

2.2.1.1 EQUIPAMENTO DE UTILIZADOR (UE)

Tal como a MS no GSM, o UE (*User Equipment*) é o equipamento que faz a interface entre o sistema UMTS e o utilizador, possibilitando o acesso e utilização de serviços.

Os principais componentes de um equipamento de utilizador são:

- Equipamento Móvel (*ME – Mobile Equipment*), que pode ainda subdividir-se em:
 - Equipamento Terminal (*TE – Terminal Equipment*);
 - Terminal Móvel (*MT – Mobile Terminal*);
- Cartão USIM (*UMTS Subscriber Identity Module*).

O cartão USIM é um *smartcard* que armazena a identidade e outros parâmetros específicos do assinante, nomeadamente informação que permite a sua autenticação na rede. O conceito é semelhante ao SIM do GSM; a diferença reside no facto do USIM suportar especificações para autenticação e encriptação mais seguras.

O equipamento móvel é o terminal rádio usado para comunicar com a rede (interface *Uu*). A ligação à UTRAN, independente dos serviços ou aplicações, é assegurada pelo terminal móvel, enquanto que o equipamento terminal dispõe das interfaces específicas para as aplicações do utilizador.

2.2.1.2 UTRAN

Como já referido, a UTRAN é a nova rede de acesso dos sistemas UMTS, sendo esta a principal evolução em relação aos sistemas GSM.

A UTRAN é composta por vários sistemas RNS (*Radio Network System*) semelhantes ao BSS do GSM. Os principais elementos do RNS são os *Node-B* e o *Radio Network Controller* (RNC). Estes elementos desempenham funções semelhantes às das BTS e BSC, respectivamente, do GSM. A principal diferença reside na integração completa no RNC das funções relacionadas com comutação de pacotes (interface *Iu-PS*).

A inclusão destes novos elementos levou à definição de novas interfaces: *Iub*, equivalente à *Abis*, *Iu-CS*, equivalente à *A*, *Iu-PS*, equivalente à *Gb*, e ainda a nova interface *Iur*. Esta última interface permite a ligação entre RNCs dentro da mesma UTRAN, de modo a possibilitar a realização de *soft handover* entre RNCs.

2.2.1.3 REDE CORE

As principais funções do *core* do sistema UMTS prendem-se com a comutação, encaminhamento e trânsito do tráfego de e para os utilizadores. O *core* da rede inclui ainda as bases de dados e as funções de gestão da rede.

Em relação aos sistemas GSM, a arquitectura do *core* UMTS apresenta os mesmos elementos desempenhando as mesmas funções.

2.2.1.4 ARQUITECTURA UMTS APÓS RELEASE 99

As primeiras redes UMTS foram implementadas de acordo com as primeiras especificações da norma, designadas por *Release 99*.

A família de normas UMTS tem sofrido desenvolvimentos e evoluções no sentido de suprir algumas limitações das especificações iniciais, bem como incluir avanços tecnológicos e novas funcionalidades.

Numa perspectiva de alto nível, a estrutura base da rede mantém-se nas *Releases 4, 5, 6 e 7*. As diferenças ocorrem nos detalhes. Por exemplo, a rede de transporte nas interfaces muda de ATM (*Asynchronous Transfer Mode*), na *Release 99*, para *All IP*, na *Release 5*.

Algumas das principais alterações introduzidas pelas novas *Releases* das normas UMTS são apresentadas na tabela seguinte (Tabela 2-1).

Tabela 2-1 – Algumas das funcionalidades introduzidas em cada *Release* das normas UMTS

<i>Release</i>	<i>Data</i>	Funcionalidades Introduzidas
99	Dezembro de 1999	<ul style="list-style-type: none"> • Serviços de suporte • Comutação de circuitos a 64 kbps • Comutação de pacotes a 384 kbps • Serviços de localização • Compatibilidade com GSM • USIM • UTRAN / WCDMA
4	Março de 2001	<ul style="list-style-type: none"> • Separação do plano de controlo do plano de transporte na rede core (domínio CS) • Tecnologia rádio EDGE • Mensagens Multimédia • Níveis MExE • USIM e serviços de localização melhorados
5	Junho de 2002	<ul style="list-style-type: none"> • IMS – <i>IP Multimedia Subsystem</i> • HSDPA – <i>High Speed Downlink Packet Access</i> • Transporte IP na UTRAN (All IP) • GERAN e MExE melhoradas
6	Dezembro de 2004	<ul style="list-style-type: none"> • MBMS – <i>Multimedia Broadcast Multicast Service</i> • HSUPA – <i>High Speed Uplink Packet Access</i> • Interoperação de WLAN • IMS melhorado
7 e 8	Em desenvolvimento	<ul style="list-style-type: none"> • HSPA <i>Evolution</i> (HSPA +) • LTE – <i>Long-Term Evolution</i> • SAE – <i>System Architecture Evolution</i> • Outras

2.2.1.5 HSDPA E HSUPA

As tecnologias HSDPA (*High Speed Downlink Packet Access*) e HSUPA (*High Speed Uplink Packet Access*), introduzidas nas *Releases* 5 e 6 das normas 3GPP, respectivamente, têm um forte impacto na percepção dos utilizadores em relação ao desempenho de aplicações suportadas em comutação de pacotes (v.g. acesso à Internet, *e-mail*, *upload* e *download* de ficheiros, *video streaming*, etc.).

Actualmente, o HSDPA permite velocidades de transmissão em *downlink* até 14,4 Mbps, utilizando um canal radioelétrico de 5 MHz e implementando técnicas *AMC* – *Adaptive Modulation and Coding*, *HARQ* – *Hybrid Automatic Request*, *MIMO* – *Multiple Input Multiple Output*, entre outras. Esta tecnologia melhora significativamente as velocidades de *download* de informação, com valores médios realistas de 600-800 kbps e picos acima de 1 Mbps.

Por seu lado, o HSUPA é a tecnologia complementar do HSDPA que possibilita velocidades de *uplink* até 5,8 Mbps. Esta melhoria das velocidades de *upload* permite que, por exemplo, o envio de *e-mails* com grandes ficheiros anexos decorra de forma expedita. Com esta tecnologia melhora-se a eficiência do canal radioelétrico, aumentando a capacidade de transporte de pacotes, sem recurso a alterações na modulação do *uplink*.

Além das melhorias substanciais a nível das velocidades de transmissão, as tecnologias HSPA permitem reduzir significativamente a latência da rede. Com o HSDPA, o RTT (*Round Trip Time*) melhora para valores inferiores a 100 ms, enquanto que, com HSUPA, pode baixar ainda mais para valores da ordem dos 50 ms. Os baixos valores de RTT, só por si, não possibilitam novos serviços, com excepção (talvez) de jogos de acção *online*. Contudo, tendo em conta as características do TCP (*Transmission Control Protocol*), a associação do aumento de velocidade de transmissão com o baixo RTT melhora a percepção de desempenho do sistema móvel sentida pelo utilizador. Por exemplo, a sincronização de *e-mail* entre cliente e servidor pode envolver a troca de múltiplas pequenas mensagens; nestas circunstâncias, baixos RTT podem fazer muita diferença.

2.3 SERVIÇOS DE COMUNICAÇÕES MÓVEIS

Para os utilizadores finais, a infra-estrutura tecnológica em que se suporta um sistema de comunicações móvel assume pouca relevância. O que verdadeiramente lhes interessa é manter uma chamada de voz, enviar e receber SMS, aceder à Internet, enviar e receber e-mail, ou ainda poder ver em directo o último golo do seu clube favorito, etc. Todos estes serviços devem ser suportados sem falhas, a qualquer hora e em qualquer lugar. Assim, o objectivo central de qualquer sistema de comunicações móveis é a prestação de serviços com um grau de qualidade que permita garantir a satisfação e fidelização dos utilizadores.

2.3.1 CLASSIFICAÇÃO DOS SERVIÇOS DE TELECOMUNICAÇÕES

Os serviços de telecomunicações são entendidos como a capacidade de uma rede de permitir aos utilizadores comunicar entre si ou com outros utilizadores de outras infra-estruturas de comunicações.

Uma rede móvel fornece, em cooperação com outras redes, um conjunto de funcionalidades, definido por protocolos uniformizados, que permite que os serviços de telecomunicações sejam oferecidos aos utilizadores.

2.3.1.1 SERVIÇOS BÁSICOS

Os serviços básicos de telecomunicações (Figura 2-4) dividem-se em duas categorias:

- **Serviços de Suporte** – serviços de telecomunicações que fornecem capacidade de transmissão de sinais entre pontos de acesso, envolvendo apenas funções de baixo nível (níveis mais baixos do modelo OSI);
- **Teleserviços** – serviços de telecomunicações que fornecem capacidade completa, englobam funções da rede e funções de equipamento terminal, para comunicação entre utilizadores de acordo com protocolos estabelecidos entre operadores de rede; estes são os serviços “visíveis” para os utilizadores (v.g. voz, SMS, etc.).

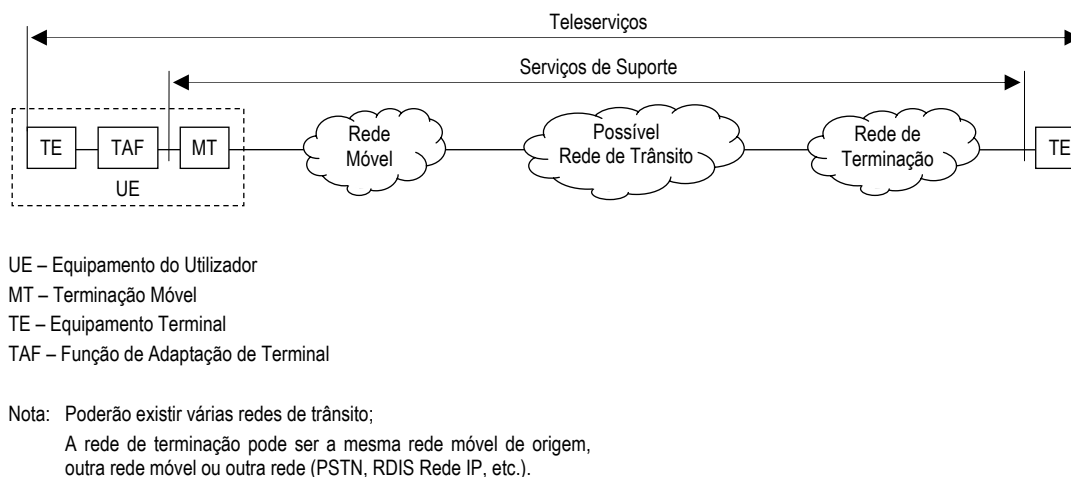


Figura 2-4 – Serviços básicos de telecomunicações suportados por uma rede móvel [ETSI TS 122 105]

2.3.1.2 SERVIÇOS SUPLEMENTARES

Um serviço suplementar modifica ou complementa um serviço básico de telecomunicações. Consequentemente, apenas pode ser oferecido em conjugação com um ou vários serviços básicos (de suporte ou teleserviços).

2.3.2 REQUISITOS DE QUALIDADE DOS SERVIÇOS E APLICAÇÕES

Como já referido, o objectivo de qualquer operador de rede móvel é fornecer serviços com níveis adequados de qualidade. Para tal, o operador deve ter um conhecimento profundo dos requisitos de qualidade dos serviços e aplicações.

Sendo o utilizador o destinatário dos serviços, deve ser ele o ponto de partida para a definição de objectivos de desempenho dos serviços. Assim, devem ser identificados os factores-chave que influenciam a QoS na perspectiva do utilizador.

Para o utilizador comum é de pouca relevância a forma como os serviços são implementados. No entanto, o utilizador tem interesse em comparar o mesmo serviço, disponibilizado por diferentes operadores, em termos de parâmetros de desempenho universais, aplicáveis a qualquer serviço do tipo extremo-a-extremo (*end-to-end*).

Numa perspectiva de utilizador, o desempenho de serviços deve ser expresso através de

parâmetros que:

- Se centrem em efeitos perceptíveis pelo utilizador, em detrimento das suas causas internas às redes;
- Sejam independentes do tipo de arquitectura ou tecnologia utilizada pela rede;
- Tenham em conta todos os aspectos do serviço, numa perspectiva de utilizador, que possam ser medidos, de forma objectiva, nos pontos de acesso ao serviço;
- Possam ser garantidos ao utilizador pelo fornecedor de serviços.

2.3.3 ASPECTOS QUE AFECTAM O DESEMPENHO DOS SERVIÇOS

A latência (atraso), a perda de informação (perda de pacotes) e a variação da latência (*jitter*), bem como a cobertura, bloqueios no acesso e terminações intempestivas da utilização dos serviços, são os principais aspectos que afectam a QoS percebida pelo utilizador.

2.3.3.1 LATÊNCIA

A latência manifesta-se de várias maneiras, incluindo o tempo necessário para aceder a um serviço, ou seja, o tempo que decorre desde que o utilizador requer o serviço até receber a indicação de que este foi estabelecido. O impacto deste parâmetro na satisfação do utilizador depende do tipo de aplicação. A latência sentida pelo utilizador corresponde ao somatório dos atrasos causados pelos vários elementos utilizados na prestação de um serviço: equipamentos terminais, rede, servidores, outros. Numa perspectiva de utilizador, a latência pode também ser influenciada por outros parâmetros de rede, tais como o ritmo de transmissão de informação.

2.3.3.2 VARIAÇÃO DA LATÊNCIA

A variação da latência ou *jitter* assume particular importância em sistemas de comutação de pacotes. Nestes sistemas os pacotes percorrem caminhos diferentes causando uma grande variabilidade do tempo de chegada. No entanto, em serviços intolerantes a esta variabilidade são tomadas medidas para a evitar, ou pelo menos minimizar, nomeadamente através da utilização de *buffers* (embora à custa da inclusão de uma latência adicional fixa).

2.3.3.3 PERDA DE INFORMAÇÃO

A perda de pacotes tem um efeito muito directo na qualidade da informação apresentada ao utilizador final, quer se trate de voz, imagem, vídeo ou dados. Neste contexto, a perda de informação não se limita aos efeitos de bits errados ou de perdas de pacotes durante a transmissão; inclui também os efeitos da degradação introduzida pela codificação dos sinais para uma transmissão mais eficiente (v.g. utilização de *codecs* de baixo *bit-rate* para voz e vídeo).

2.3.4 CLASSES DE QUALIDADE DE SERVIÇO EM UMTS

Face aos aspectos identificados nas secções anteriores, é possível definir várias classes de qualidade de serviço. Em UMTS são definidas quatro classes de qualidade de serviço [ETSI TS 123 107]:

- Conversação;
- Interactiva;
- *Streaming*;
- *Background*.

O principal factor diferenciador destas classes de serviço é a sensibilidade do tráfego a atrasos. A classe de conversação é a mais sensível tolerando apenas atrasos muito pequenos (pequenas fracções de segundo); a classe *background* é a mais insensível, tolerando atrasos elevados (superiores a 10 segundos).

A tolerância a erros é um factor que permite diferenciar os serviços em cada classe. Alguns erros não comprometem o desempenho de serviços de voz e videotelefonia, enquanto que o desempenho de outros serviços, tais como *e-commerce* e *web browsing*, fica comprometido se ocorrerem erros.

As principais características destas classes de QoS bem como os serviços que se enquadram em cada uma delas encontram-se evidenciados na Figura 2-5.

Tolerantes a Erros	Voz e Vídeo de conversação	Mensagens de Voz	Áudio e Vídeo streaming	Fax
Intolerantes a Erros	Telnet, Jogos Interactivos	e-commerce, WWW browsing	FTP, Imagens Fixas, Paging	Notificação de recepção de e-mail
	Conversação (atraso $\ll 1$ s)	Interactiva (atraso ≈ 1 s)	Streaming (atraso < 10 s)	Background (atraso > 10 s)

Figura 2-5 – Agrupamento de aplicações em termos de requisitos de QoS [ETSI TS 122 105]

2.3.5 CONSIDERAÇÕES SOBRE O DESEMPENHO DE ALGUMAS APLICAÇÕES

2.3.5.1 SERVIÇO DE VOZ

O desempenho do serviço de voz (de conversação) é significativamente influenciado pela latência (*one-way delay*). Este parâmetro provoca dois efeitos distintos nas comunicações. O primeiro é a criação de eco em conjugação com as adaptações entre dois e quatro fios, ou até mesmo nos acoplamentos acústicos dos equipamentos terminais. Este efeito começa a causar degradações significativas no serviço de voz para valores de latência da ordem das dezenas de milissegundos [ITU-T G.1010] [ETSI TS 122 105], sendo necessário tomar medidas para controlar o eco (recurso ao cancelamento eco). O segundo efeito ocorre quando a latência atinge valores que interferem na dinâmica da conversação, ou seja, quando a latência se torna perceptível para as partes envolvidas numa comunicação. Isto ocorre para valores de latência da ordem das centenas de milissegundos [ITU-T G.1010] [ETSI TS 122 105].

Por outro lado, o ouvido humano é muito intolerante a variações, de curto prazo, na latência (*jitter*) da comunicação. Esta situação obriga a que, em sistemas reais qualquer que seja o serviço de voz, seja necessário proceder à remoção da variação de latência, causada pela variabilidade do tempo de chegada de pacotes, através da utilização de *buffers* (*de-jitterizing buffers*). Um limite de 1 milissegundo para esta variação é indicado como um valor adequado [ITU-T G.1010] [ETSI TS 122 105].

A influência das perdas de informação no serviço de voz, só por si, é pouco significativa, já que o ouvido humano é tolerante a alguma distorção do sinal de voz. A principal fonte de degradação da qualidade de voz é devida à utilização de *codecs* de baixo *bit-rate* para compressão de sinais de voz, e ao desempenho destes *codecs* em situações de perdas de pacotes. Alguns estudos indicam que é possível obter desempenhos aceitáveis com taxas de perda de tramas (*frame erasure rates*) até 3% [ITU-T G.1010] [ETSI TS 122 105].

As principais expectativas dos utilizadores, em relação ao desempenho dos serviços de conversação/tempo real, onde se enquadra o serviço de voz, encontram-se resumidas na tabela Tabela 2-2.

Tabela 2-2 – Expectativas de desempenho de serviços de conversação/tempo real [ETSI TS 122 105]

Media	Aplicação	Grau de simetria	Taxa de Transferência de dados	Objectivos de desempenho para parâmetros-chave		
				Latência extremo-a-extremo (<i>one-way delay</i>)	Variação da latência (<i>jitter</i>)	Perdas de informação
Áudio	Voz	Bidireccional	4-25 kbps	< 150 ms (preferencial) < 400 ms (limite)	< 1 ms	< 3% FER
Vídeo	Videotelefonia	Bidireccional	32-384 kbps	< 150 ms (preferencial) < 400 ms (limite) <i>Lip-synch</i> < 100 ms		< 1% FER
Dados	Telemetria-Controlo	Bidireccional	< 28,8 kbps	< 250 ms	N.A.	Zero
Dados	Jogos Interactivos	Bidireccional	< 1 kbps	< 250 ms	N.A.	Zero
Dados	Telnet	Bidireccional (Assimétrico)	< 1 kbps	< 250 ms	N.A.	Zero

2.3.5.2 VIDEOTELEFONIA

A videotelefonia é entendida como um serviço de telecomunicações bidireccional que possibilita o envio e recepção de informação áudio e vídeo, entre dois utilizadores, em tempo real. Neste contexto, os requisitos em termos de latência são iguais aos do serviço de voz, ou seja, ausência de eco e interferência mínima na dinâmica da conversação. Adicionalmente, um bom desempenho deste serviço requer que as componentes áudio e vídeo da comunicação estejam sincronizadas, dentro de determinados limites, para evitar desfasamentos entre a imagem e o som correspondente (*lip-synch*). De facto, devido à longa latência sofrida, mesmo com os *codecs* de vídeo mais recentes, é difícil cumprir estes requisitos de qualidade.

À semelhança do ouvido, o olho humano é tolerante a algumas perdas de informação, pelo que é admitida alguma perda de pacotes, dependendo do codificador de vídeo e da protecção contra erros utilizados. É expectável que os *codecs* de vídeo mais recentes

possibilitem uma qualidade de vídeo aceitável com taxas de perda de tramas (*frame erasure rate*) até aproximadamente 1% [ITU-T G.1010] [ETSI TS 122 105].

As expectativas dos utilizadores relativamente ao serviço de videotelefonia encontram-se na Tabela 2-2.

2.3.5.3 WEB-BROWSING

Esta aplicação refere-se à transferência e visualização da componente HTML de uma página *web*. Numa perspectiva de utilizador, o principal factor de desempenho é a rapidez com que a página *web* aparece após ter sido solicitada. Valores da ordem dos 2 a 4 segundos são aceitáveis; no entanto, melhorias para valores da ordem de 0,5 segundos seriam desejadas [ETSI TS 122 105].

Na Tabela 2-3 são apresentadas as expectativas dos utilizadores em relação aos serviços interactivos, classe em que se inclui o serviço *web-browsing*.

Tabela 2-3 – Expectativas de desempenho de serviços interactivos [ETSI TS 122 105]

Média	Aplicação	Grau de simetria	Taxa de Transferência de dados	Objectivos de desempenho para parâmetros-chave		
				Latência extremo-a-extremo (<i>one-way delay</i>)	Variação da latência (<i>jitter</i>)	Perdas de informação
Áudio	Mensagens de voz	Essencialmente unidireccional	4-13 kbps	< 1 s para reprodução < 2 s para gravação	< 1 ms	< 3% FER
Dados	Web-browsing-HTML	Essencialmente unidireccional		< 4 s/página	N.A.	Zero
Dados	Transferência de dados de alta prioridade (v.g. e-commerce)	Bidireccional		< 4 s	N.A.	Zero
Dados	E-mail (acesso ao servidor)	Essencialmente unidireccional		< 4 s	N.A.	Zero

2.3.5.4 TRANSFERÊNCIA DE DADOS

Embora possam ocorrer excepções, é geralmente assumido que, do ponto de vista do utilizador, o principal requisito de qualidade em qualquer transferência de dados é a garantia de perdas nulas de informação. Por seu lado, a variação de latência não tem impacto perceptível para o utilizador. Contudo, diferentes aplicações tendem a diferenciar-se pelo atraso tolerado pelo utilizador para satisfação de um pedido (tempo que decorre desde o pedido até à apresentação da informação ao utilizador).

Na situação de transferência de ficheiros, o desempenho do serviço é obviamente influenciado pela dimensão do ficheiro a transferir. Desde que o utilizador tenha a indicação de que a transferência se encontra a decorrer, são tolerados tempos de transferência relativamente longos.

As expectativas dos utilizadores em relação ao desempenho dos serviços de transferência de dados são apresentadas nas Tabela 2-3 e Tabela 2-4.

Tabela 2-4 – Expectativas de desempenho de serviços *Streaming* [ETSI TS 122 105]

Media	Aplicação	Grau de simetria	Taxa de Transferência de dados	Objectivos de desempenho para parâmetros-chave		
				Latência inicial	Variação da latência na transmissão (<i>jitter</i>)	Perdas de informação
Áudio	Voz, voz e música, música de média e alta qualidade	Essencialmente unidireccional	5-128 kbps	< 10 s	< 2 s	< 1% PLR
Vídeo	Sequências de vídeo, vigilância, vídeo em tempo real	Essencialmente unidireccional	20-384 kbps	< 10 s	< 2 s	< 2% PLR
Dados	Transferência de ficheiros, informação de sincronização	Essencialmente unidireccional	< 384 kbps	< 10 s	N.A.	Zero
Dados	Imagens Fixas	Essencialmente unidireccional		< 10 s	N.A.	Zero

2.3.5.5 E-MAIL

O e-mail é um serviço do tipo “armazenamento e reencaminhamento” em que são tolerados atrasos da ordem dos minutos ou mesmo horas. No entanto, convém fazer a diferenciação entre a comunicação do utilizador para o servidor local e a comunicação entre servidores. Na primeira situação, é expectável que a transferência de um *e-mail* seja rápida, embora não necessariamente instantânea. Tempos da ordem dos 2 a 4 segundos são aceitáveis (Tabela 2-3). Na segunda situação, são tolerados tempos muito mais longos, sendo a expectativa média da ordem das horas [ETSI TS 122 105].

2.3.5.6 TRANSFERÊNCIAS DE DADOS DE BAIXA PRIORIDADE

Um exemplo deste tipo de transacções é o Serviço de Mensagens Curtas (SMS). Tempos de entrega da ordem das dezenas de segundos são considerados aceitáveis [ITU-T G.1010] [ETSI TS 122 105].

2.4 SUMÁRIO

Neste capítulo foram caracterizados os sistemas e serviços de comunicações móveis mais comuns.

É apresentada a arquitectura de referência dos sistemas GSM e UMTS descrevendo-se as características e funções dos blocos principais. Apresentam-se ainda as tendências de evolução destes sistemas, em particular as tecnologias HSPA, que já começaram a ser implementadas em alguns sistemas, que possibilitam uma melhoria significativa das velocidades de tráfego de *uplink* e *downlink* na rede radioelétrica de acesso e reduções da latência global dos sistemas.

O que realmente interessa aos consumidores finais são os serviços de telecomunicações. Neste capítulo foram analisadas as diferenças e relações entre serviços básicos e serviços suplementares, constatando-se que o mais relevante para os utilizadores são os teleserviços e os serviços suplementares que os modificam ou complementam. Para estes serviços, com ênfase nos serviços mais comuns em sistemas GSM/UMTS, foram estudados os requisitos de qualidade e os factores que mais afectam a QoS. A latência, a variação da latência, a perda de informação, a cobertura, os bloqueios no acesso e as terminações intempestivas da utilização são os aspectos que mais condicionam a QoS percebida pelos utilizadores. Contudo, estes aspectos têm impacto de forma diferenciada a QoS dos diferentes serviços. Por exemplo, latências elevadas são bem toleradas em serviços de transferência de dados mas não são admissíveis em serviços de voz ou videotelefonia.

Capítulo 3

QoS NA PERSPECTIVA DO UTILIZADOR

Neste capítulo é introduzido o conceito de qualidade de serviço numa perspectiva de utilizador. São definidos os indicadores/parâmetros que permitem quantificar essa qualidade, aplicando aos serviços de comunicações móveis mais comuns, e estabelecidas as condições em que devem ser feitas as análises de qualidade para que os resultados reflectam a qualidade efectiva dos serviços.

3.1 INTRODUÇÃO

O ITU define **Qualidade de Serviço** (*QoS – Quality of Service*) como o efeito global do desempenho do serviço que determina o grau de satisfação do utilizador do serviço; define **Desempenho de Rede** (*Network Performance*) como a capacidade de uma rede ou parte dela fornecer as funcionalidades relacionadas com a comunicação entre utilizadores [ITU-T E.800].

A qualidade de serviço caracteriza-se por uma combinação do desempenho de diferentes factores, tais como, serviços de suporte, facilidade de utilização do serviço, acessibilidade do serviço, retenção/manutenção do serviço, integridade do serviço, segurança do serviço e outros factores específicos de cada serviço.

Alguns autores [Soldani *et al.*, 2006] apresentam designações diferentes para os conceitos de QoS e Desempenho de Rede. Consideram *QoS* como sinónimo de *Desempenho da Rede* e apresentam uma nova designação para Qualidade de Serviço – *QoE – Quality of end-user Experience*.

No contexto desta dissertação, são usados os seguintes conceitos:

- *Desempenho da Rede* ou *Qualidade de Serviço* – capacidade de uma rede ou parte dela para fornecer um serviço com um determinado grau de qualidade. Engloba as funcionalidades, mecanismos e procedimentos, implementados pela rede celular e pelo equipamento terminal, que asseguram o fornecimento da qualidade de serviço negociada entre o equipamento terminal e o *core* da rede.
- *Qualidade de Serviço na Perspectiva do Utilizador* ou *QoE* – corresponde à percepção de qualidade sentida por um utilizador quando utiliza o serviço. Indica o grau de satisfação do utilizador em termos de, por exemplo, acessibilidade, retenção e integridade do serviço.

A *Qualidade de Serviço na Perspectiva do Utilizador* é normalmente expressa em termos de sensações humanas, do tipo, “Excelente”, “Boa”, “Aceitável”, “Pobre” e “Má”, enquanto que o *Desempenho da Rede* é um conceito puramente técnico medido, expresso e

entendido numa óptica de rede ou dos seus elementos, apresentando pouco significado para o utilizador. No entanto, estes aspectos são indissociáveis: normalmente um melhor desempenho da rede traduz-se em melhor qualidade percebida pelo utilizador. Contudo, bons parâmetros de desempenho não garantem a satisfação do utilizador. Por exemplo, óptima qualidade áudio do serviço de voz num determinado local não serve de muito ao utilizador se imediatamente ao lado a rede não apresentar cobertura radioelétrica. Neste sentido, o que é realmente importante é garantir a satisfação dos utilizadores, pelo que o objectivo do desempenho de uma infra-estrutura celular deve ser a disponibilização de elevada *Qualidade de Serviço na Perspectiva do Utilizador* (Figura 3-1).

Esta dissertação debruça-se essencialmente sobre a *Qualidade de Serviço na Perspectiva do Utilizador*, pelo que referências a “qualidade de serviço”, “QoS” ou “QoE” têm subjacente este conceito.

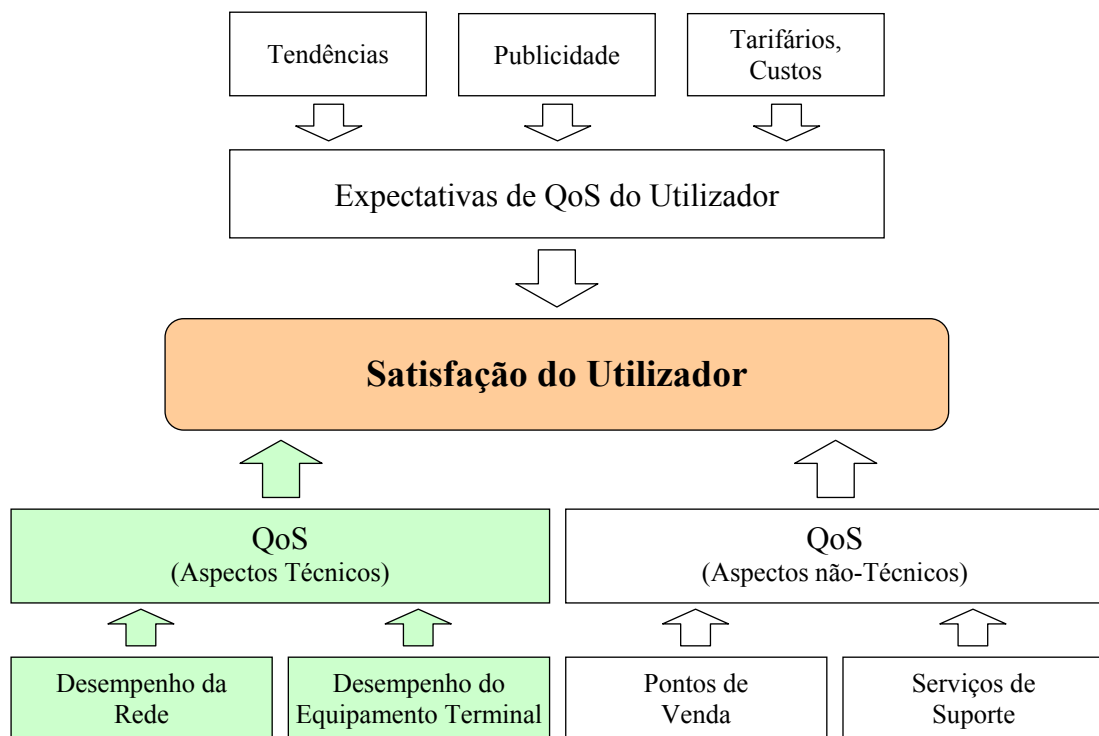


Figura 3-1 – Relação entre Satisfação do Utilizador, Qualidade de Serviço e Desempenho da Rede [ETSI TS 102 250-1]

Esta dissertação aborda apenas os aspectos técnicos da QoS que contribuem para a satisfação dos utilizadores.

Numa perspectiva de utilizador, a utilização de serviços suportados em sistemas de comunicações móveis apresenta as seguintes fases (diferentes aspectos da Qualidade de Serviço):

- a. **Disponibilidade da Rede** – Indicação de que a rede móvel está presente;
- b. **Acesso à Rede** – Indicação de que é possível utilizar os serviços (normalmente corresponde à indicação do nome da rede no visor do equipamento terminal e da indicação de disponibilidade GPRS e/ou 3G);
- c. **Acesso ao Serviço** – Corresponde à disponibilização, por parte do operador móvel, do acesso a um serviço que o utilizador pretende aceder. (v.g. estabelecer uma chamada de voz);
- d. **Integridade do Serviço** – Corresponde à Qualidade do Serviço (QoS) durante a sua utilização (v.g. Qualidade Áudio durante uma chamada de voz; velocidade de transferência de dados, atraso, variação do atraso e perdas de informação numa sessão de dados);
- e. **Retenção/Manutenção do Serviço** – Corresponde à forma como termina a utilização do serviço (de acordo ou contra a vontade do utilizador).

Os indicadores/parâmetros de QoS devem permitir obter informação relevante sobre cada um dos aspectos acima identificados, de forma a possibilitarem, entre outros:

- A comparação entre os níveis de QoS observados e os definidos nos termos ou condições dos contratos estabelecidos entre os operadores e os assinantes (clientes);
- A comparação entre os níveis de QoS disponibilizados por diferentes operadores;
- O estudo da evolução da QoS ao longo do tempo;
- A identificação das causas de problemas e avaliar o impacto das soluções implementadas;
- A verificação do cumprimento de obrigações legais dos operadores.

No entanto, deve haver muito cuidado na utilização dos parâmetros de QoS devido ao efeito da cobertura radioelétrica, que pode “deturpar” os valores absolutos destes parâmetros e inviabilizar a comparação de desempenho de redes. Alguns factores devem

ser tomados em consideração:

- As redes podem não ter sido desenhadas com as mesmas prioridades de cobertura. Os operadores podem focalizar a cobertura radioelétrica das suas redes em determinadas áreas geográficas (v.g. zonas urbanas, zonas rurais, litoral, interior, etc.) ou em tipos específicos de utilizadores (v.g. residenciais, empresariais, classes sociais, etc.), em especial nos primeiros anos de operação;
- O nível médio absoluto de desempenho das redes móveis pode ter pouco interesse para os utilizadores que podem estar apenas interessados no desempenho das redes numa área geográfica específica, podendo ocorrer situações em que uma rede apresente melhor cobertura numa determinada área enquanto outra rede apresente melhor cobertura noutra área;
- A capacidade e cobertura de uma rede móvel mudam frequentemente, em especial nos primeiros anos de operação, pelo que o desempenho é melhorado à medida que os operadores vão desenvolvendo as suas redes. Assim, análises de QoS efectuadas num local e momento específicos podem não ser indicativas do desempenho médio das redes durante um período alargado de tempo;
- Os indicadores de desempenho das redes obtidos através de *drive-tests* aplicam-se apenas aos locais visados, excepto situações em que a amostra escolhida seja representativa das localizações dos utilizadores de serviços móveis.

3.2 SERVIÇOS DE COMUNICAÇÕES MÓVEIS MAIS COMUNS

Numa avaliação da QoS, na perspectiva do utilizador, devem ser considerados os serviços que, em cada tecnologia, apresentem maior relevância para os utilizadores finais, numa lógica de mercado nacional e internacional, e que sejam normalmente disponibilizados por todos os operadores presentes no mercado.

Tendo presente este princípio orientador, e considerando a realidade presente, devem ser incluídos em estudos de avaliação da QoS os seguintes serviços:

1. Independente dos Serviços (GSM/WCDMA):
 - a. **Disponibilidade das Redes Radioeléctricas:** verificação da cobertura radioeléctrica das redes móveis (níveis de sinal);
 - b. **Acessibilidade da Rede:** verificação da disponibilidade dos serviços de suporte, tanto em modo de comutação de circuitos (*CS – Circuit Switched*) como em modo de comutação de pacotes (*PS – Packet Switched*);
2. Serviços de Telefonia (GSM/UMTS):
 - c. **Serviço de Voz;**
 - d. **Serviço de Videotelefonia;**
3. Serviços de Mensagens (GSM/GPRS/UMTS):
 - e. **SMS – Serviço de Mensagens Curtas;**
 - f. **MMS – Serviço de Mensagens Multimédia;**
4. Serviços de Dados (GPRS/UMTS):
 - g. **Navegação na Internet (*HTTP browsing*);**
 - h. **Envio de Informação (*FTP upload*);**
 - i. **Recepção de Informação (*FTP download*);**
 - j. **Envio de *e-mail* (*e-mail Send – SMTP*);**
 - k. **Recepção de *e-mail* (*e-mail Receive – POP3*).**

3.3 PARÂMETROS/INDICADORES DE QoS

Os parâmetros/indicadores de QoS aqui definidos têm por base testes de campo, efectuados na perspectiva do utilizador com recurso a um sistema automático de medida, reflectindo os vários aspectos que afectam a qualidade do serviço (medições extremo-a-extremo).

Nas medições assume-se que o utilizador sabe utilizar correctamente o equipamento terminal e os serviços. Assume-se também que:

- O serviço está disponível, não existindo qualquer tipo de barramento;
- As configurações e parametrizações do equipamento terminal e da rede em análise encontram-se correctamente definidas e são adequadas para os tipos de serviços que se pretende utilizar;
- O equipamento terminal do utilizador encontra-se pronto a responder a uma chamada.

Os métodos de medida aplicam-se a qualquer das tecnologias utilizadas nos sistemas de comunicações. No entanto, alguns parâmetros de teste podem estar dependentes da tecnologia utilizada na rede radioelétrica de acesso. Estas situações são devidamente assinaladas.

Para medição dos indicadores de integridade dos serviços de voz e de videotelefonia são simuladas conversações entre utilizadores. Para tal, depois de estabelecida uma chamada, um dos terminais envia amostras de áudio ou, no caso do serviço de videotelefonia, amostras de áudio/vídeo, enquanto que o outro terminal procede à gravação e armazenamento da amostra recebida. O processo é depois repetido em sentido oposto, invertendo-se as funções dos terminais envolvidos. Estes processos são repetidos tantas vezes quanto a duração da chamada o permita [ETSI TR 102 506]. As amostras devem ser constituídas por sequências de áudio e/ou vídeo com 5 a 12 segundos de duração com conteúdo e formato adequados ao tipo de serviço em análise. O ITU e o ETSI caracterizam este tipo de amostras em diversas recomendações [ITU-T P.862.3] [ETSI TR 102 506] [ETSI TR 102 493].

O comportamento acústico e visual dos equipamentos terminais não é avaliado no momento da realização dos testes. As amostras são inseridas e recolhidas nas interfaces eléctricas dos terminais. No entanto, o impacto destes aspectos na qualidade de serviço será reflectido nos indicadores de QoS, visto que os algoritmos de análise, actualmente disponíveis, incorporam modelizações destes aspectos.

3.3.1 INDEPENDENTES DO SERVIÇO

3.3.1.1 DISPONIBILIDADE DA REDE RADIOELÉCTRICA (GSM/WCDMA)

A disponibilidade da rede é a probabilidade dos serviços móveis estarem disponíveis para um utilizador (cobertura radioelétrica das redes).

$$\text{Disponibilidade da Rede Radioelétrica [\%]} = \frac{\sum \text{Medições com os Serviços Móveis Disponíveis}}{\sum \text{Medições Realizadas}} \times 100\% \quad (3-1)$$

Considera-se que os serviços móveis estão disponíveis quando os níveis de sinal radioelétrico apresentam valores acima de limiares mínimos que permitam a sua utilização. Estes limiares podem ser ajustados pelos operadores móveis e normalmente apresentam valores diferenciados para GSM e para WCDMA.

3.3.1.2 ACESSIBILIDADE DA REDE (GSM/WCDMA)

A acessibilidade da rede é a probabilidade de um utilizador (o seu equipamento terminal) se registar com sucesso numa rede móvel ficando apto a utilizar serviços, tanto em modo de comutação de circuitos (CS) como em modo comutação de pacotes (PS).

$$\text{Acessibilidade da Rede [\%]} = \frac{\sum \text{Tentativas de Registo na Rede Bem Sucedidas}}{\sum \text{Tentativas de Registo}} \times 100\% \quad (3-2)$$

3.3.2 SERVIÇOS DE TELEFONIA

3.3.2.1 ACESSIBILIDADE DO SERVIÇO (VOZ/VIDEOTELEFONIA)

A acessibilidade do serviço é a probabilidade de um utilizador ter acesso ao serviço (voz ou videotelefonia), ou seja, probabilidade de sucesso no estabelecimento de chamadas (de voz ou de videotelefonia).

Uma chamada será considerada “Estabelecida com Sucesso” se atingir o terminal chamado (no terminal chamador ouve-se o “sinal de chamar” ou, numa perspectiva técnica, a mensagem de “ALERTING” é passada, através do canal lógico DCCH, do equipamento terminal chamado para o MSC e depois do MSC para o equipamento terminal chamador).

$$\text{Acessibilidade do Serviço [\%]} = \frac{\sum \text{Chamadas Estabelecidas com Sucesso}}{\sum \text{Tentativas de Estabelecimento de Chamadas}} \times 100\% \quad (3-3)$$

3.3.2.2 TEMPO DE ESTABELECIMENTO DE CHAMADAS (VOZ/VIDEOTELEFONIA)

O tempo de estabelecimento de chamadas é o período de tempo que decorre entre o envio de um endereço de destino completo (número de telefone de destino) e o estabelecimento da chamada.

$$\text{Tempo de Estabelecimento de Chamadas [s]} = t_{\text{sinal_chamar}} - t_{\text{envio_endereço}} \quad (3-4)$$

$t_{\text{envio_endereço}}$ – momento em que o utilizador pressiona o botão de envio.

$t_{\text{sinal_chamar}}$ – momento em que a chamada é estabelecida com sucesso (no terminal chamador ouve-se o “sinal de chamar”).

3.3.2.3 TAXA DE ESTABELECIMENTO DA COMUNICAÇÃO ÁUDIO/VÍDEO (VIDEOTELEFONIA)

A taxa de estabelecimento da comunicação é a probabilidade de sucesso no estabelecimento da comunicação áudio/vídeo, após o atendimento de uma chamada de videotelefonia.

$$\text{Taxa de Estabelecimento da Comunicação Áudio/Vídeo [\%]} = \frac{\sum \text{Comunicações Áudio/Vídeo Estabelecidas com Sucesso}}{\sum \text{Chamadas Atendidas}} \times 100\% \quad (3-5)$$

Considera-se que a comunicação áudio/vídeo foi estabelecida com sucesso quando as componentes áudio e vídeo estão presentes nos dois extremos da chamada de videotelefonia (reprodução de áudio e vídeo nos dois equipamentos terminais envolvidos na chamada).

Este parâmetro/indicador depende do equipamento terminal utilizado e do tipo de protocolo multimédia implementado.

3.3.2.4 TEMPO DE ESTABELECIMENTO DA COMUNICAÇÃO ÁUDIO/VÍDEO (VIDEOTELEFONIA)

O tempo de estabelecimento da comunicação é o período de tempo que decorre entre o atendimento da chamada de videotelefonia (o utilizador chamado aceita a chamada) e o início da reprodução de áudio e vídeo nos dois equipamentos terminais envolvidos na chamada.

$$\text{Tempo de Estabelecimento da Comunicação Áudio/Vídeo [s]} = t_{\text{início_áudio/vídeo}} - t_{\text{atende_chamada}} \quad (3-6)$$

$t_{\text{atende_chamada}}$ – momento em que o utilizador chamado atende a chamada de videotelefonia.

$t_{\text{início_áudio/vídeo}}$ – momento em que se inicia a reprodução de áudio e vídeo nos dois equipamentos terminais envolvidos na chamada de videotelefonia.

3.3.2.5 TAXA DE TERMINAÇÃO DE CHAMADAS (VOZ/VIDEOTELEFONIA)

A taxa de terminação de chamadas é a probabilidade de uma chamada, depois de estabelecida com sucesso, se manter activa durante um determinado período de tempo, terminando de forma normal, ou seja, de acordo com a vontade do utilizador.

$$\text{Taxa de Terminação de Chamadas [\%]} = \frac{\sum \text{Chamadas com Terminação Normal}}{\sum \text{Chamadas Estabelecidas com Sucesso}} \times 100\% \quad (3-7)$$

3.3.2.6 QUALIDADE ÁUDIO DE CHAMADA (VOZ/VIDEOTELEFONIA)

Este indicador quantifica a perceptibilidade da conversação durante uma chamada (de voz ou de videotelefonia). São avaliados os dois sentidos da comunicação e apenas são consideradas as chamadas com terminação normal.

A avaliação deste indicador de QoS consiste na comparação da amostra original de áudio enviada, $X(t)$, com a correspondente amostra degradada recebida, $Y(t)$, no outro extremo da chamada, através da utilização de algoritmos específicos.

O índice objectivo de qualidade áudio obtido através da aplicação destes algoritmos deve ser o mais próximo possível do que se obteria se a amostra $Y(t)$ fosse submetida à apreciação subjectiva de um painel de utilizadores do serviço.

$$\begin{aligned} \text{Qualidade Áudio de Chamada}_{\text{lado A}} [\text{MOS_LQO}] &= f\{X_B(t); Y_A(t)\} \\ \text{Qualidade Áudio de Chamada}_{\text{lado B}} [\text{MOS_LQO}] &= f\{X_A(t); Y_B(t)\} \end{aligned} \quad (3-8)$$

lado A; lado B – designação dos dois extremos de uma chamada de voz ou de videotelefonia.

MOS_LQO – escala de quantificação da qualidade áudio percebida (*Mean Opinion Score – Listening-only Quality Objective*).

f – função correspondente à aplicação de um algoritmo de cálculo e função de conversão dos resultados em valores MOS_LQO.

$X_A(t)$; $X_B(t)$ – amostra original de áudio enviada a partir do lado A (B).

$Y_A(t)$; $Y_B(t)$ – amostra degradada de áudio recebida no lado A (B), resultante da transmissão da amostra original $X_B(t)$ ($X_A(t)$).

Actualmente o ITU recomenda a utilização do algoritmo *PESQ – Perceptual Evaluation of Speech Quality* [ITU-T P.862] [ITU-T P.862.1] [ITU-T P.862.3]. No entanto, alguns fabricantes de equipamentos de medida utilizam algoritmos proprietários que possibilitam resultados idênticos. É o caso da *SwissQual, AG*, que utiliza nos seus sistemas de teste e medida o algoritmo *SQuad-LQ – SwissQual's speech quality algorithm for Listening Quality*.

Os resultados da aplicação do algoritmo devem ser apresentados numa escala do tipo MOS (*Mean Opinion Score*) de 1 a 5 designada por MOS_LQO (*Mean Opinion Score – Listening-only Quality Objective*), tal como indicado na Tabela 3-1. [ITU-T P.10/G.100] [ITU-T P.800] [ITU-T P.800.1]. A função de conversão dos resultados obtidos através do algoritmo PESQ em valores MOS_LQO encontra-se descrita na recomendação ITU-T P.862.1 [ITU-T P.862.1].

Tabela 3-1 – Escala MOS_LQO / MOS_VQO

MOS	Qualidade
5	Excelente
4	Boa
3	Aceitável
2	Pobre
1	Má

Nas situações em que em cada sentido da mesma chamada sejam enviadas e recebidas várias amostras de áudio $\{X_1(t), \dots, X_n(t); Y_1(t), \dots, Y_n(t)\}$, o indicador *Qualidade Áudio de Chamada* pode ser calculado através da média aritmética dos valores obtidos pela aplicação da equação (3-8) a cada par de amostras de áudio.

$$\begin{aligned} \text{Qualidade Áudio de Chamada}_{\text{lado A}} [MOS_LQO] &= \frac{f\{X_{1B}(t), Y_{1A}(t)\} + \dots + f\{X_{nB}(t), Y_{nA}(t)\}}{n} \\ \text{Qualidade Áudio de Chamada}_{\text{lado B}} [MOS_LQO] &= \frac{f\{X_{1A}(t), Y_{1B}(t)\} + \dots + f\{X_{nA}(t), Y_{nB}(t)\}}{n} \end{aligned} \quad (3-9)$$

No entanto, no caso de chamadas de voz, experiências recentes mostram que a qualidade áudio percebida por um utilizador é mais influenciada pela qualidade observada na parte final da chamada do que no início [ETSI TR 102 506]. Assim, o indicador *Qualidade Áudio de Chamada* deve ser calculado através de uma média ponderada, em vez de uma média aritmética simples, em que as amostras apresentam maior peso à medida que se aproximam do fim da chamada.

$$\begin{aligned} \text{Qualidade Áudio de Chamada}_{\text{lado A}} [MOS_LQO] &= \frac{\sum_{s=1}^n a_s (f\{X_{sB}(t), Y_{sA}(t)\})}{\sum_{s=1}^n a_s} \\ \text{Qualidade Áudio de Chamada}_{\text{lado B}} [MOS_LQO] &= \frac{\sum_{s=1}^n a_s (f\{X_{sA}(t), Y_{sB}(t)\})}{\sum_{s=1}^n a_s} \end{aligned} \quad (3-10)$$

$$n = 5; a_1 = 0,4; a_2 = 0,5; a_3 = 0,6; a_4 = 0,8; a_5 = 1,0 \quad [\text{ETSI TR 102 506}]$$

O indicador pode ainda ser significativamente melhorado se for tomado em consideração o impacto que a pior amostra tem na qualidade áudio percebida. A experiência empírica demonstra que uma amostra com muito má qualidade áudio deteriora significativamente a impressão de qualidade áudio percebida por um utilizador, em acréscimo ao efeito do momento temporal em que ocorre [ETSI TR 102 506].

Assim, considerando também este efeito, o indicador *Qualidade Áudio de Chamada*

assume a seguinte formulação ($n = 5$):

$$\begin{aligned}
 \text{Qualidade \acute{A}udio de Chamada}_{\text{lado A}} [\text{MOS_LQO}] &= \frac{\sum_{s=1}^5 a_s (f\{X_{sB}(t); Y_{sA}(t)\})}{\sum_{s=1}^5 a_s} - \frac{2}{5} \left(\frac{\sum_{s=1}^5 (f\{X_{sB}(t); Y_{sA}(t)\})}{5} - \min(f\{X_{sB}(t); Y_{sA}(t)\}) \right) \\
 \text{Qualidade \acute{A}udio de Chamada}_{\text{lado B}} [\text{MOS_LQO}] &= \frac{\sum_{s=1}^5 a_s (f\{X_{sA}(t); Y_{sB}(t)\})}{\sum_{s=1}^5 a_s} - \frac{2}{5} \left(\frac{\sum_{s=1}^5 (f\{X_{sA}(t); Y_{sB}(t)\})}{5} - \min(f\{X_{sA}(t); Y_{sB}(t)\}) \right)
 \end{aligned} \tag{3-11}$$

$\min(\dots)$ – menor valor de qualidade registado nas amostras.

$n = 5$; $a_1 = 0,4$; $a_2 = 0,5$; $a_3 = 0,6$; $a_4 = 0,8$; $a_5 = 1,0$ [ETSI TR 102 506]

3.3.2.7 QUALIDADE VÍDEO DE CHAMADA (VIDEOTELEFONIA)

Este indicador quantifica a qualidade visual da comunicação, durante uma chamada de videotelefonia. São avaliados os dois sentidos da comunicação e apenas são consideradas as chamadas com terminação normal.

O processo de avaliação deste indicador é idêntico ao utilizado para a *Qualidade \acute{A}udio de Chamada*.

$$\begin{aligned}
 \text{Qualidade V\acute{I}deo de Chamada}_{\text{lado A}} [\text{MOS_VQO}] &= f\{W_B(t); Z_A(t)\} \\
 \text{Qualidade V\acute{I}deo de Chamada}_{\text{lado B}} [\text{MOS_VQO}] &= f\{W_A(t); Z_B(t)\}
 \end{aligned} \tag{3-12}$$

lado A; *lado B* – designação dos dois extremos de uma chamada de videotelefonia.

MOS_VQO – escala de quantificação da qualidade visual percebida (*Mean Opinion Score – Visual Quality Objective*).

f – função correspondente à aplicação de um algoritmo de cálculo e função de conversão dos resultados em valores *MOS_VQO*.

$W_A(t)$; $W_B(t)$ – amostra original de vídeo enviada a partir do lado A (B).

$Z_A(t)$; $Z_B(t)$ – amostra degradada de vídeo recebida no lado A (B), resultante da transmissão da amostra original $W_B(t)$ ($W_A(t)$).

Actualmente não existe nenhum algoritmo recomendado por organismos de normalização internacionais para avaliação da qualidade vídeo. Contudo, alguns fabricantes de sistemas de medida desenvolveram os seus próprios algoritmos, tendo em conta as linhas orientadoras traçadas pelo ETSI [ETSI TR 102 493] e pelo *VQEG – Video Quality Experts Group* [VQEG, 2007]. É o caso da *SwissQual*, *AG* que utiliza nos seus produtos um algoritmo proprietário designado *VQuad-Objective Model for Video Quality Assessment*.

Na Figura 3-2 apresenta-se o diagrama funcional do algoritmo VQuad. Este algoritmo baseia-se num modelo do tipo referência total (*full-reference*), ou seja, na comparação perceptual da amostra degradada de vídeo com a sua referência. Uma sequência (amostra) de vídeo de referência é transmitida através da rede móvel em teste. No destino, procede-se à captura da sequência de vídeo e à sua validação objectiva através da comparação perceptual com a sequência de vídeo de referência. O resultado é um índice global de qualidade visual (MOS_VQO) e outros parâmetros de qualidade específicos (*block distortion, blurring, jerkiness, level, PSNR, frame jitter, frame loss, lip-sync*, etc.).

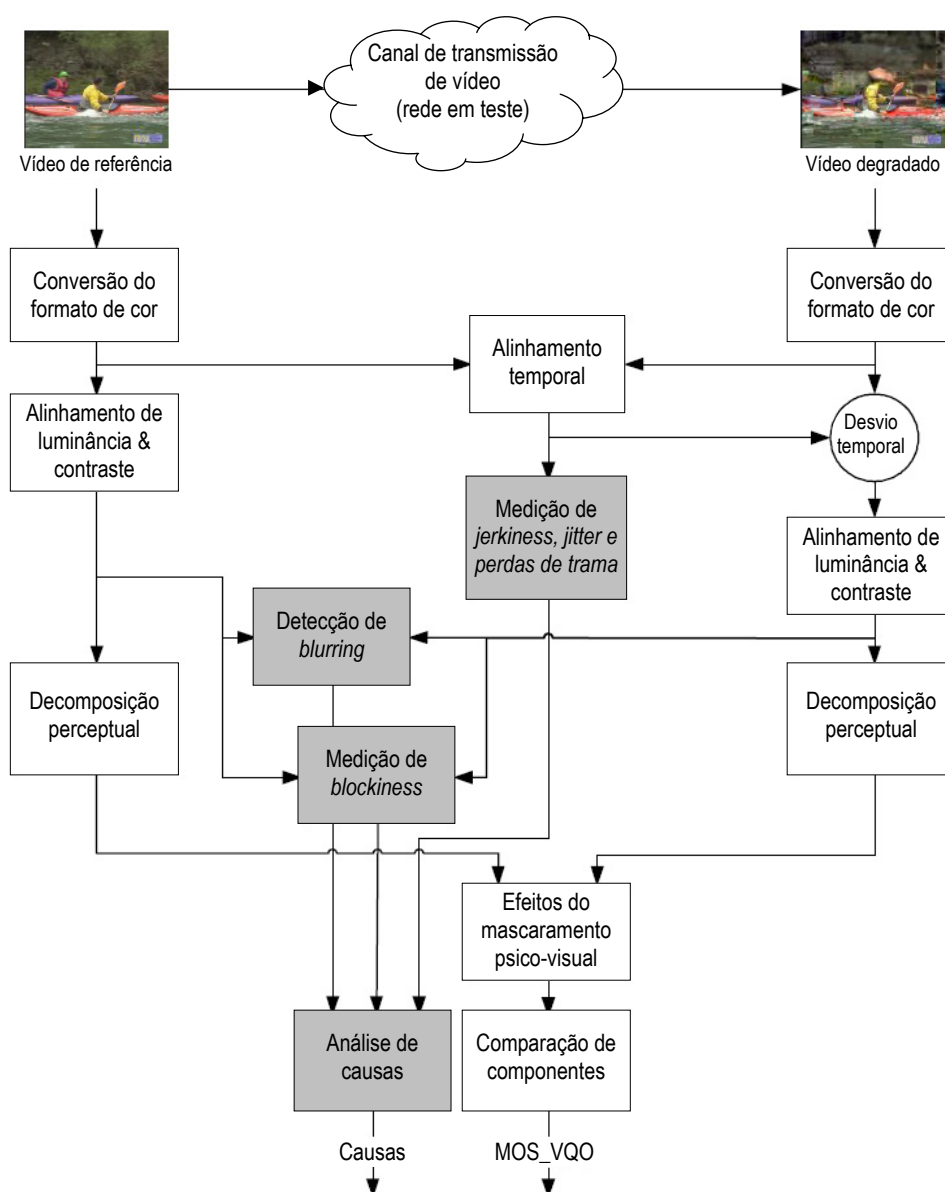


Figura 3-2 – Diagrama funcional do algoritmo *VQuad* (Cortesia SwissQual, AG)

O índice global de qualidade visual, resultante da aplicação do algoritmo VQuad, deve ser apresentado numa escala do tipo MOS (*Mean Opinion Score*) de 1 a 5 designada por MOS_VQO (*Mean Opinion Score – Visual Quality Objective*), tal como indicado na Tabela 3-1 [ITU-T P.910] [ITU-T P.911] [ETSI TR 102 493].

Nas situações em que em cada sentido da mesma chamada sejam enviadas e recebidas várias amostras de vídeo $\{W_1(t), \dots, W_n(t); Z_1(t), \dots, Z_n(t)\}$, o indicador *Qualidade Vídeo de Chamada* pode ser obtido através da média aritmética dos valores obtidos pela aplicação da equação (3-12) a cada par de amostras de vídeo.

$$\begin{aligned} \text{Qualidade Vídeo de Chamada}_{\text{lado A}} [\text{MOS_VQO}] &= \frac{f\{W_{1B}(t), Z_{1A}(t)\} + \dots + f\{W_{nB}(t), Z_{nA}(t)\}}{n} \\ \text{Qualidade Vídeo de Chamada}_{\text{lado B}} [\text{MOS_VQO}] &= \frac{f\{W_{1A}(t), Z_{1B}(t)\} + \dots + f\{W_{nA}(t), Z_{nB}(t)\}}{n} \end{aligned} \quad (3-13)$$

3.3.2.8 SINCRONISMO ÁUDIO/VÍDEO DE CHAMADA (VIDEOTELEFONIA)

Este parâmetro indica a percentagem da duração da chamada de videotelefonia em que o desfaseamento temporal entre as componentes áudio e vídeo da comunicação se manteve dentro de limiares adequados para a prestação deste serviço.

No cálculo deste indicador apenas são consideradas as chamadas em que a comunicação áudio/vídeo foi estabelecida com sucesso e a terminação foi normal.

A duração total da chamada corresponde ao período que decorre entre o momento em que se inicia a reprodução de áudio e vídeo, nos dois equipamentos terminais envolvidos na chamada, e o momento em que a chamada termina de forma normal (de acordo com a vontade do utilizador).

$$\text{Sincronismo Áudio/Vídeo de Chamada} [\%] = \frac{\sum \text{períodos da chamada com desfaseamento dentro de limiares adequados}}{\text{Duração Total da Chamada}} \times 100\% \quad (3-14)$$

3.3.2.9 LATÊNCIA DE TRANSMISSÃO DE ÁUDIO (VOZ/VIDEOTELEFONIA)

A latência de transmissão de áudio quantifica o atraso que a informação áudio sofre durante uma chamada de voz ou de videotelefonia, ou seja, o tempo que decorre desde o momento em que um sinal áudio é capturado pelo microfone de um dos equipamentos terminais até à sua reprodução no altifalante do outro equipamento terminal envolvido na chamada.

Este indicador só pode ser medido após o estabelecimento com sucesso da comunicação áudio.

$$\text{Latência de Transmissão de Áudio [ms]} = t_{\text{reprodução_áudio}} - t_{\text{captura_áudio}} \quad (3-15)$$

$t_{\text{captura_áudio}}$ – momento em que o sinal áudio é colocado no microfone de um equipamento terminal.

$t_{\text{reprodução_áudio}}$ – momento em que se inicia a reprodução do sinal áudio no outro equipamento terminal envolvido na chamada.

3.3.2.10 VARIAÇÃO DA LATÊNCIA DE TRANSMISSÃO DE ÁUDIO (VOZ/VIDEOTELEFONIA)

Este indicador quantifica a variação dos atrasos que a informação áudio sofre durante uma chamada de voz ou de videotelefonia.

Corresponde ao *Desvio Padrão* do indicador *Latência de Transmissão de Áudio* apresentado na secção 3.3.2.9.

$$\text{Variação da Latência de Transmissão de Áudio [ms]} = \sigma (\text{Latência de Transmissão de Áudio}) \quad (3-16)$$

σ – Desvio Padrão.

3.3.2.11 LATÊNCIA DE TRANSMISSÃO DE VÍDEO (VIDEOTELEFONIA)

Este parâmetro quantifica o atraso que a informação vídeo sofre durante uma chamada de videotelefonia, ou seja, o tempo que decorre desde o momento em que um sinal vídeo é capturado pela câmara de um dos equipamentos terminais até à sua visualização no visor do outro equipamento terminal envolvido na chamada.

Este indicador só pode ser medido após o estabelecimento com sucesso da comunicação vídeo.

$$\text{Latência de Transmissão de Vídeo [ms]} = t_{\text{reprodução_vídeo}} - t_{\text{captura_vídeo}} \quad (3-17)$$

$t_{\text{captura_vídeo}}$ – momento em que o sinal vídeo é captado pela câmara de um equipamento terminal.

$t_{\text{reprodução_vídeo}}$ – momento em que se inicia a reprodução do sinal vídeo no visor do outro equipamento terminal envolvido na chamada.

3.3.2.12 VARIAÇÃO DA LATÊNCIA DE TRANSMISSÃO DE VÍDEO (VIDEOTELEFONIA)

Este indicador quantifica a variação dos atrasos que a informação vídeo sofre durante uma chamada de videotelefonia.

Corresponde ao *Desvio Padrão* do indicador *Latência de Transmissão de Vídeo* apresentado na secção 3.3.2.11.

$$\text{Variação da Latência de Transmissão de Vídeo [ms]} = \sigma (\text{Latência de Transmissão de Vídeo}) \quad (3-18)$$

σ – Desvio Padrão.

3.3.2.13 PERDA DE INFORMAÇÃO (VOZ/VIDEOTELEFONIA)

A perda de informação representa a relação entre a informação recebida e a informação enviada numa chamada de voz ou de videotelefonia.

$$\text{Perda de Informação [\%]} = \frac{\sum \text{bits de informação perdidos ou incorrectamente recebidos}}{\sum \text{bits de informação enviados}} \times 100\% \quad (3-19)$$

3.3.3 SMS – SERVIÇO DE MENSAGENS CURTAS

3.3.3.1 ACESSIBILIDADE DO SERVIÇO SMS

Este parâmetro representa a probabilidade de um utilizador ter acesso ao serviço SMS, ou seja, probabilidade de sucesso no envio de SMS.

$$\text{Acessibilidade do Serviço SMS [\%]} = \frac{\sum \text{SMS Enviadas com Sucesso}}{\sum \text{Tentativas de Envio de SMS}} \times 100\% \quad (3-20)$$

3.3.3.2 TEMPO DE ENVIO DE SMS

O tempo de envio de SMS é o tempo que decorre entre o início do envio da SMS para o Centro de Mensagens (SMSC) e a recepção da notificação da sua entrega ao mesmo Centro de Mensagens.

$$\text{Tempo de Envio de SMS [s]} = t_{\text{notificação}} - t_{\text{envio}} \quad (3-21)$$

t_{envio} – momento em que o utilizador inicia o envio de SMS.

$t_{\text{notificação}}$ – momento em que o equipamento móvel, originador da SMS, recebe a confirmação de que a SMS foi entregue ao SMSC.

3.3.3.3 TEMPO DE ENTREGA DE SMS

Este é o tempo que decorre entre o início do envio da SMS para o Centro de Mensagens (SMSC) e a recepção da mesma SMS pelo equipamento terminal de destino.

$$\text{Tempo de Entrega de SMS [s]} = t_{\text{recepção}} - t_{\text{envio}} \quad (3-22)$$

t_{envio} – momento em que o utilizador inicia o envio de SMS.

$t_{\text{recepção}}$ – momento em que o equipamento terminal de destino recebe a SMS enviada pelo equipamento terminal originador.

As mensagens que não sejam entregues dentro de uma janela temporal de entrega são consideradas como mensagens que falharam e não são consideradas no cálculo deste indicador.

3.3.3.4 TAXA DE ENTREGA DE SMS

Esta taxa é a probabilidade de uma SMS ser entregue com sucesso ao destinatário, ou seja, a relação entre o número de SMS recebidas com sucesso pelo equipamento terminal de destino e o número de SMS enviadas pelo equipamento terminal de origem.

As mensagens que apresentem erros ou que não sejam entregues dentro de uma janela temporal de entrega são consideradas como mensagens que falharam. As mensagens recebidas em duplicado não são contabilizadas para efeitos de taxa de entrega de SMS.

Uma SMS é considerada recebida com erro desde que, pelo menos, um dos seus bits não esteja correcto.

$$\text{Taxa de Entrega de SMS [\%]} = \frac{\sum \text{SMS Recebidas com Sucesso}}{\sum \text{Tentativas de Envio de SMS}} \times 100\% \quad (3-23)$$

3.3.4 MMS – SERVIÇO DE MENSAGENS MULTIMÉDIA

3.3.4.1 TAXA DE ENVIO DE MMS

A taxa de envio de MMS é a probabilidade de um utilizador ter acesso ao serviço MMS, ou seja, probabilidade de sucesso no envio de MMS.

$$\text{Acessibilidade do Serviço MMS [\%]} = \frac{\sum \text{MMS Enviadas com Sucesso}}{\sum \text{Tentativas de Envio de MMS}} \times 100\% \quad (3-24)$$

3.3.4.2 VELOCIDADE DE ENVIO DE MMS

Esta é a velocidade média de transferência de dados no envio de uma MMS.

$$\text{Velocidade de Envio de MMS [kbps]} = \frac{\text{Dimensão da MMS Enviada [kbit]}}{\text{Tempo de Envio da MMS [s]}} \quad (3-25)$$

Tempo de Envio da MMS – apenas é considerado o tempo “puro” de transferência da MMS, isto é, não é considerado o tempo necessário para iniciar e terminar a sessão de dados correspondente.

3.3.4.3 TAXA DE NOTIFICAÇÃO DE MMS

Esta é a probabilidade do equipamento terminal de destino receber a notificação de uma MMS que tenha sido enviada com sucesso (a mensagem foi adequadamente recebida pelo MMSC).

$$Taxa\ de\ Notificação\ de\ MMS\ [\%] = \frac{\sum Notificações\ de\ MMS\ Recebidas}{\sum MMS\ Enviadas\ com\ Sucesso} \times 100\% \quad (3-26)$$

3.3.4.4 TAXA DE RECEPÇÃO DE MMS

Esta é a probabilidade de uma MMS ser recebida (*downloaded*) com sucesso pelo equipamento terminal de destino, que previamente tenha recebido uma notificação de MMS.

$$Taxa\ de\ Recepção\ de\ MMS\ [\%] = \frac{\sum MMS\ Recebidas\ com\ Sucesso}{\sum Notificações\ de\ MMS\ Recebidas} \times 100\% \quad (3-27)$$

3.3.4.5 VELOCIDADE DE RECEPÇÃO DE MMS

A velocidade de recepção de MMS é a velocidade média de transferência de dados na recepção de uma MMS.

$$Velocidade\ de\ Recepção\ de\ MMS\ [kbps] = \frac{Dimensão\ da\ MMS\ Recebida\ [kbit]}{Tempo\ de\ recepção\ da\ MMS\ [s]} \quad (3-28)$$

Tempo de Recepção da MMS – apenas é considerado o tempo “puro” de transferência da MMS, isto é, não é considerado o tempo necessário para iniciar e terminar a sessão de dados correspondente.

3.3.4.6 TAXA DE ENTREGA DE MMS

A taxa de entrega de MMS é a probabilidade de uma MMS ser entregue com sucesso ao destinatário, ou seja, a relação entre o número de MMS recebidas com sucesso pelo equipamento terminal de destino e o número de MMS enviadas pelo equipamento terminal de origem.

$$Taxa\ de\ Entrega\ de\ MMS\ [\%] = \frac{\sum MMS\ Recebidas\ com\ Sucesso}{\sum Tentativas\ de\ Envio\ de\ MMS} \times 100\% \quad (3-29)$$

As mensagens que não sejam entregues dentro de uma janela temporal de entrega são consideradas como mensagens falhadas.

3.3.4.7 TEMPO DE ENTREGA DE MMS

O tempo de entrega de MMS é o tempo que decorre entre o início do envio de uma MMS para o Centro de Mensagens (MMSC) e o fim da recepção da mesma MMS pelo equipamento terminal de destino.

Este parâmetro depende directamente da dimensão da mensagem, pelo que deve ser calculado individualmente para cada dimensão de MMS utilizada nos testes.

$$\text{Tempo de Entrega de MMS [s]} = t_{\text{fim_recepção}} - t_{\text{início_envio}} \quad (3-30)$$

$t_{\text{início_envio}}$ – momento em que o utilizador inicia o envio de MMS.

$t_{\text{fim_recepção}}$ – momento em que o equipamento terminal de destino termina a recepção da MMS enviada pelo equipamento terminal originador.

As mensagens que não sejam entregues dentro de uma janela temporal de entrega são consideradas como falhadas e não são consideradas no cálculo deste indicador. A duração desta janela depende directamente da dimensão da MMS.

3.3.5 HTTP BROWSING, FTP UPLOAD/DOWNLOAD, E-MAIL SEND/RECEIVE

3.3.5.1 TAXA DE ESTABELECIMENTO DE SESSÕES DE DADOS

A taxa de estabelecimento de sessões de dados é a probabilidade de sucesso no estabelecimento de sessões de dados (*PDP Context Activation*), quando o modo de comutação de pacotes (PS) está disponível no local (na célula) em teste e o terminal se encontra adequadamente registado (*attached*).

$$\text{Taxa de Estabelecimento de Sessões de Dados [\%]} = \frac{\sum \text{Sessões de Dados Estabelecidas com Sucesso}}{\sum \text{Tentativas de Estabelecimento de Sessões de Dados}} \times 100\% \quad (3-31)$$

3.3.5.2 TEMPO DE ESTABELECIMENTO DE SESSÕES DE DADOS

Este é o período de tempo necessário para o estabelecimento de sessões de dados (*PDP Context Activation*), quando o modo de comutação de pacotes (PS) está disponível no local (na célula) em teste e o terminal se encontra adequadamente registado (*attached*), ou seja, o tempo que decorre desde o momento em que o utilizador inicia o estabelecimento de uma sessão de dados até ao momento em que o terminal móvel recebe a indicação de que o pedido de estabelecimento de sessão de dados foi aceite pela rede.

$$\text{Tempo de Estabelecimento de Sessões de Dados [s]} = t_{PDP \text{ context activation_accept}} - t_{PDP \text{ context activation_request}} \quad (3-32)$$

$t_{PDP \text{ context activation_request}}$ – momento em que o utilizador inicia o estabelecimento de uma sessão de dados.

$t_{PDP \text{ context activation_accept}}$ – momento em que o equipamento terminal móvel recebe a indicação de que o pedido de estabelecimento de sessão de dados foi aceite pela rede.

Este indicador deve ser calculado individualmente para cada um dos serviços (HTTP, FTP ou e-mail) visto que o tipo de serviço pode ter um impacto importante no tempo de estabelecimento de sessões de dados, por exemplo, devido à utilização de diferentes *Access Point Names* (APN) pelo *Wireless Application Protocol* (WAP).

3.3.5.3 ACESSIBILIDADE DO SERVIÇO (HTTP/FTP/E-MAIL)

A acessibilidade do serviço representa a probabilidade de estabelecimento de sessões de dados (*PDP Context Activation*) e acesso ao serviço pretendido (HTTP, FTP, E-Mail), quando o modo de comutação de pacotes (PS) está disponível no local (na célula) em teste e o terminal se encontra adequadamente registado (*attached*).

Considera-se que o acesso ao serviço é bem sucedido quando possibilita o início da transferência de informação (página *web*, ficheiro ou *e-mail*), ou seja, quando possibilita o envio ou recepção do primeiro pacote de informação.

$$\text{Acessibilidade do Serviço [\%]} = \frac{\sum \text{Sessões de Acesso ao Serviço Estabelecidas com Sucesso}}{\sum \text{Tentativas de Estabelecimento de Sessões de Acesso ao Serviço}} \times 100\% \quad (3-33)$$

3.3.5.4 TEMPO DE ESTABELECIMENTO DE ACESSO AO SERVIÇO (HTTP/FTP/E-MAIL)

Este é o período de tempo necessário para aceder com sucesso ao serviço pretendido (HTTP/FTP/E-Mail), quando o modo de comutação de pacotes (PS) está disponível no local (na célula) em teste e o terminal se encontra adequadamente registado (*attached*), ou seja, o tempo que decorre desde o momento em que o utilizador inicia o estabelecimento de uma sessão de dados para acesso ao serviço (HTTP/FTP/E-Mail) até ao momento em que o terminal móvel envia ou recebe o primeiro pacote de informação.

$$\text{Tempo de Estabelecimento de Acesso ao Serviço [s]} = t_{\text{primeiro pacote enviado ou recebido}} - t_{\text{PDP context activation_request}} \quad (3-34)$$

$t_{\text{PDP context activation_request}}$ – momento em que o utilizador inicia o estabelecimento de uma sessão de dados para acesso ao serviço.

$t_{\text{primeiro pacote enviado ou recebido}}$ – momento em que o equipamento terminal móvel envia ou recebe o primeiro pacote de informação.

3.3.5.5 TAXA DE TERMINAÇÃO DE SESSÕES DE UTILIZAÇÃO DO SERVIÇO (HTTP/FTP/E-MAIL)

Esta é a probabilidade de uma sessão de utilização do serviço, depois de iniciada, decorrer com sucesso, ou seja, permitir a transferência da totalidade da informação (página *web*, ficheiro ou *e-mail*).

$$\text{Taxa de Terminação de Sessões de Utilização do Serviço [\%]} = \frac{\sum \text{Sessões de Utilização do Serviço Terminadas com Sucesso}}{\sum \text{Sessões de Acesso ao Serviço Estabelecidas com Sucesso}} \times 100\% \quad (3-35)$$

3.3.5.6 VELOCIDADE DE TRANSFERÊNCIA DE DADOS (HTTP/FTP/E-MAIL)

Este indicador quantifica a velocidade média de transferência de dados durante uma sessão HTTP, FTP ou *e-mail*.

No cálculo deste indicador, apenas devem ser consideradas as sessões de utilização do serviço terminadas com sucesso (as que permitiram a transferência da totalidade dos pacotes de informação).

$$\text{Velocidade de Transferência de Dados [kpbs]} = \frac{\text{Dimensão da Informação Enviada ou Recebida [kbit]}}{\text{Tempo de Envio ou Recepção [s]}} \quad (3-36)$$

Tempo de Envio ou Recepção – apenas é considerado o tempo “puro” de transferência de informação (página *web*, ficheiro ou *e-mail*), não é considerado o tempo necessário para iniciar e terminar a sessão de dados correspondente (ou seja, tempo que decorre entre o envio/recepção do primeiro pacote com informação até ao envio/recepção do último pacote com informação).

3.3.5.7 LATÊNCIA DE TRANSMISSÃO DE DADOS (HTTP/FTP/E-MAIL)

Este indicador quantifica o tempo necessário para que um pacote de informação viaje desde o equipamento terminal móvel até ao Servidor de Conteúdos (Servidor HTTP, FTP ou e-mail) ou *vice-versa*. Este atraso corresponde a metade do *Round Trip Time* (RTT) obtido pela ferramenta *Ping* (ICMP *echo*). Deve ser medido depois de estabelecidas as sessões de utilização do serviço.

$$\text{Latência de Transmissão de Dados [ms]} = \frac{\text{Ping RTT [ms]}}{2} \quad (3-37)$$

3.3.5.8 VARIAÇÃO DA LATÊNCIA DE TRANSMISSÃO DE DADOS (HTTP/FTP/E-MAIL)

Este indicador quantifica a variação dos atrasos que os pacotes de informação sofrem durante a utilização do serviço (HTTP/FTP/E-Mail).

Corresponde ao *Desvio Padrão* do indicador *Latência de Transmissão de Dados* apresentado na secção 3.3.5.7.

$$\text{Variação da Latência de Transmissão de Dados [ms]} = \sigma (\text{Latência de Transmissão de Dados}) \quad (3-38)$$

σ – Desvio Padrão.

3.3.5.9 PERDA DE INFORMAÇÃO (HTTP/FTP/E-MAIL)

Perdas ou erros de transmissão numa sessão de utilização do serviço (HTTP/FTP/E-Mail).

$$\text{Perda de Informação [\%]} = \frac{\sum \text{pacotes de informação perdidos ou corrompidos}}{\sum \text{pacotes de informação}} \times 100\% \quad (3-39)$$

3.4 PERFIS DE MEDIDA

A avaliação da qualidade de serviço de sistemas de comunicações móveis, numa perspectiva de utilizador, terá valor acrescentado se for possível a comparação do desempenho de diferentes sistemas, dentro do mesmo país ou mesmo entre sistemas de países diferentes.

A comparabilidade das medidas de desempenho de redes móveis pode ser influenciada por vários factores:

- Sistemas de teste/medida utilizados;
- Perfis e parametrizações de teste utilizados;
- Os locais de realização das medidas;
- O momento em que se realizam as medidas;
- Quantidade de medições efectuadas;
- Outros.

Assim, sempre que possível, na realização de medidas tendo como objectivo a comparação do desempenho de diferentes redes, deve ser utilizado o mesmo sistema de teste/medida e as diferentes redes devem ser analisadas em simultâneo e nos mesmos locais. O número de locais deve apresentar uma dimensão suficiente para que os resultados sejam estatisticamente representativos tendo em conta as localizações das estações de base ou *Node-B* das redes.

Contudo, este cenário nem sempre é possível, nomeadamente quando se analisam redes com áreas de cobertura distintas (v.g. de diferentes países). Nestas situações, a comparação de resultados só será possível se forem utilizados indicadores e metodologias de análise iguais (ou muito idênticas), pelo que assume grande relevância a definição de perfis de medida padrão que possam ser utilizados por diferentes entidades.

O primeiro aspecto a ter em conta na definição de perfis de medida é o modo como devem ser efectuadas as análises. Como já referido anteriormente, considera-se que a abordagem adequada para este efeito consiste na realização de testes de campo, com recurso a um sistema de medida adequado. Este sistema de medida deve integrar terminais móveis

comerciais (que cumpram as normas do 3GPP) e ter capacidade de recolher os parâmetros necessários ao cálculo dos indicadores de QoS definidos na secção 3.3.

Os testes devem ser conduzidos de forma a emularem o comportamento dos utilizadores, com algumas variáveis controladas pelo sistema de medida.

Na realização de testes de campo, para avaliação da QoS na perspectiva do utilizador, podem ser seguidas duas abordagens:

1. **Em movimento** – simulação de um utilizador que se desloca no local objecto de estudo enquanto utiliza os serviços (*drive-tests* ou *walk-tests*);
2. **Nómada** – simulação de um utilizador que permanece estático enquanto utiliza os serviços (*stationary tests*).

A primeira abordagem contempla o aspecto diferenciador dos sistemas de comunicações móveis – a mobilidade. É adequada para análise da cobertura radioelétrica das redes móveis e para avaliar serviços de tempo-real em que a mobilidade seja comum durante a sua utilização (v.g. voz e videotelefonia).

A abordagem nómada é adequada para analisar a qualidade de serviços em que a mobilidade dos utilizadores seja reduzida durante a sua utilização (v.g. SMS, MMS e serviços de dados). Se pretendermos representatividade geográfica é necessário utilizar um número adequado de locais de teste, que para análise de cobertura radioelétrica pode ser extremamente elevado. Nada impede, sendo até recomendado, que se utilizem as duas abordagens para análise do mesmo serviço.

Além destas duas abordagens, há também que considerar o tipo de locais onde são analisados os serviços. Uma possibilidade de classificação é considerar dois ambientes distintos:

1. **Indoor** – no interior de edifícios: centros comerciais e de negócios, aeroportos, estações de transportes públicos, feiras e exposições, outros.
2. **Outdoor** – no exterior dos edifícios: zonas urbanas (ruas), zonas rurais (estradas), eixos viários principais (auto-estradas, vias-rápidas, eixos ferroviários, etc.), outros.

Qualquer que seja a abordagem seguida ou o ambiente em que é feita a análise de

qualidade, a metodologia deve assentar na realização de testes automáticos extremo-a-extremo (*end-to-end*), através da utilização dos serviços, com recurso a sistemas de teste que integrem equipamentos terminais móveis comerciais e numa lógica de utilizador comum. Além de permitir avaliar os serviços numa perspectiva de utilizador, esta metodologia permite que a realização dos testes seja independente do correcto funcionamento dos sistemas de comunicações móveis em que esses serviços se suportam e evita a subjectividade inerente à intervenção ou decisão humana.

Os testes em movimento no exterior podem ser realizados com recurso a viaturas automóveis ou ao material circulante (no caso dos eixos ferroviários) utilizando antenas exteriores (sem ganho). Na situação em que os testes são efectuados por uma pessoa que transporta o sistema de teste (*walk-tests*), normalmente em ambiente interior, podem ser utilizadas as próprias antenas dos equipamentos terminais móveis que se encontram integrados no sistema de teste utilizado.

Assume-se que, independentemente do serviço em teste, uma bateria de testes consiste num determinado número de testes individuais (repetições da unidade base de teste). O sistema e o controlo de teste devem assegurar igualdade de condições iniciais para cada teste individual, o que inclui, entre outros aspectos, tempos de pausa entre medições consecutivas suficientes para que o equipamento terminal móvel e o próprio sistema de teste voltem a um estado estável (*idle*).

Todos os parâmetros recolhidos pelo sistema de teste devem ter associado a data, hora e local (georeferenciação).

Alguns serviços podem suportar-se em diferentes tecnologias, sendo mesmo possível a comutação (*handover*) entre tecnologias durante a utilização desses serviços. Um exemplo é o serviço de voz que pode ser suportado pelas tecnologias GSM e WCDMA. Os equipamentos terminais móveis actuais possibilitam modos de operação com selecção automática de tecnologia de suporte ou forçando a utilização de uma tecnologia específica; esta configuração deve ser feita antes de uma campanha de testes e de acordo com o pretendido.

Sempre que possível as parametrizações de teste aqui propostas seguem as recomendações

de organismos internacionais, tais como o ITU e o ETSI.

3.4.1 DISPONIBILIDADE DAS REDES RADIOELÉCTRICAS

A avaliação da cobertura radioelétrica das redes efectua-se por medição dos níveis de sinal em *downlink*, RxLev (*Received signal Level*) para GSM [ETSI TS 145 008] e CPICH RSCP (*Common Pilot Channel Received Signal Code Power*) para WCDMA [ETSI TS 125 133], ao longo de cada trajecto em estudo.

As medidas devem ser efectuadas com um equipamento adequado e dedicado exclusivamente a esta tarefa, normalmente um *Scanner* de RF, para que os valores medidos correspondam aos níveis efectivos de sinal. É necessário que o equipamento de medida tenha capacidade para, em cada ponto, recolher amostras de sinal de todos os canais radioelétricos GSM e WCDMA, utilizados pelos operadores em análise, com uma determinada periodicidade (de acordo com as capacidades do *Scanner*, normalmente 1 ou 2 segundos). Posteriormente, as amostras recolhidas são analisadas e apenas as que apresentarem os melhores valores de nível de sinal, em cada ponto e para cada tecnologia e operador, serão consideradas.

Cada ponto de medida deve ser georeferenciado para permitir a posterior representação dos níveis de sinal em cartografia digital, facilitando assim a visualização dos níveis de cobertura das redes móveis, nos trajectos objecto de estudo, e a identificação de locais com cobertura deficiente ou inexistente.

3.4.2 SERVIÇOS DE TELEFONIA

Estes serviços devem ser avaliados extremo-a-extremo, utilizando-se a “chamada” como unidade base de teste.

As chamadas de teste são estabelecidas entre dois equipamentos terminais, em que pelo menos um é do tipo móvel (MS ou UE). Este MS ou UE desloca-se no trajecto/local em estudo ou permanece estático no ponto em estudo, dependendo da abordagem seguida. As chamadas originadas neste equipamento terminal, e terminadas no segundo terminal, designam-se MOC (*Mobile Originated Call*).

Para minimizar a incerteza, que acompanha sempre os processos de medida, o segundo extremo das chamadas de teste deve apresentar bons níveis e grande estabilidade de desempenho. Pretende-se que o impacto deste extremo nos indicadores de desempenho dos serviços em análise seja mínimo. As soluções recomendadas, e normalmente utilizadas, passam pela utilização de terminais de rede fixa (RDIS), para avaliação do desempenho do serviço de voz, e de terminais móveis (UE), para avaliação do desempenho do serviço de videotelefonia. Os UE devem ser mantidos estáticos em locais com adequada (boa) cobertura radioelétrica, interferência mínima e com 100% (virtualmente) de probabilidade de acesso ao serviço de videotelefonia. As chamadas originadas neste extremo, no terminal RDIS ou no UE, e terminadas no terminal móvel que se encontra no local em teste, designam-se MTC (*Mobile Terminated Call*).

Após o início de uma chamada de teste, analisa-se a integridade da comunicação (qualidade áudio, no serviço de voz, e qualidade áudio/vídeo, no serviço de videotelefonia) alternadamente em cada sentido, independentemente do extremo em que se iniciou a chamada.

Quando se realizam sessões de teste tendo em vista a comparação do desempenho de vários operadores (*benchmark*), deve ser utilizada uma janela temporal fixa para realização de cada chamada. Caso ocorra uma falha de chamada, tanto na fase de estabelecimento como na fase de conversação, a chamada seguinte só pode ter início quando chegar a janela temporal seguinte.

3.4.2.1 SERVIÇO DE VOZ

A análise do serviço de voz num determinado local deve incluir as capacidades de estabelecimento e terminação de chamadas. A duração das chamadas deve estar de acordo com os objectivos da análise: duração curta, quando apenas se pretende analisar a capacidade de estabelecimento e terminação de chamadas; duração próxima da duração média das chamadas cursadas numa rede, quando se pretende estudar a utilização normal do serviço; duração longa, quando o objectivo é avaliar a capacidade de retenção de chamadas.

A janela temporal deve contemplar, além da própria duração de chamada pretendida,

períodos que permitam o estabelecimento e desligamento da chamada e também uma pausa de 30 segundos entre chamadas consecutivas, para prevenir eventuais problemas de rede relacionados com sinalização ou gestão da mobilidade.

Os parâmetros de teste para análise do serviço de voz devem apresentar os seguintes valores [ETSI TS 102 250-5]:

- ▶ Relação entre MOC/MTC: 1/1;
- ▶ Duração das chamadas de teste:
 - 10 segundos, para estudos de capacidade de estabelecimento de chamadas;
 - 120 segundos, para estudos de utilização normal do serviço;
 - 300 segundos, para estudos de capacidade de retenção de chamadas;
- ▶ Janela temporal para realização de uma chamada de teste: 180 segundos;
- ▶ *Service Accessibility-Telephony Timeout*: 20 segundos;
- ▶ *Setup Time-Telephony Timeout*: 20 segundos.

3.4.2.2 SERVIÇO DE VIDEOTELEFONIA

Os parâmetros de teste para análise do serviço de videotelefonia são semelhantes aos utilizados para o serviço de voz. A diferença ocorre na janela temporal que deve ser maior, dado que os tempos necessários para estabelecimento de chamadas e negociação da comunicação áudio/vídeo entre terminais são mais longos.

Os parâmetros de teste para análise do serviço de videotelefonia devem apresentar os seguintes valores [ETSI TS 102 250-5]:

- ▶ Relação entre MOC/MTC: 1/1;
- ▶ Duração das chamadas de teste:
 - 10 segundos, para estudos de capacidade de estabelecimento de chamadas;
 - 120 segundos, para estudos de utilização normal do serviço;
 - 300 segundos, para estudos de capacidade de retenção de chamadas;
- ▶ Janela temporal para realização de uma chamada de teste: 210 segundos;
- ▶ *VT Service Non-Accessibility Timeout*: 20 segundos;
- ▶ *VT Service Access Time Timeout*: 20 segundos;
- ▶ *VT Audio/Video Setup Time Timeout*: 30 segundos.

3.4.3 SERVIÇOS DE MENSAGENS

Estes serviços devem ser avaliados extremo-a-extremo, utilizando-se a transmissão de uma mensagem, SMS ou MMS, como unidade base de teste.

Em cada local onde se pretenda avaliar o desempenho dos serviços, devem ser analisadas tanto a capacidade de envio como a capacidade de recepção de mensagens. As mensagens devem ser originadas e terminadas em equipamentos terminais móveis (MS ou UE). No entanto, cada equipamento terminal deve ter atribuído apenas uma tarefa, isto é, não deve ser utilizado como originador e receptor de mensagens em simultâneo.

Tal como para os serviços de telefonia, deve ser minimizada a incerteza associada ao processo de medida. Para isso, um dos equipamentos desloca-se no trajeto/local em estudo ou permanece estático no ponto em estudo, dependendo da abordagem seguida, enquanto que o segundo equipamento deve ser mantido estático em local com adequada (boa) cobertura radioelétrica, interferência mínima e com 100% (virtualmente) de probabilidade de transferência de mensagens. Este segundo equipamento deve apresentar bons níveis e grande estabilidade de desempenho, para que seja mínimo o seu impacto nos indicadores de desempenho dos serviços em análise.

Outro aspecto importante para garantir a fiabilidade dos testes consiste em evitar que o terminal móvel seja perturbado pela mensagem seguinte enquanto recebe a anterior. Para acautelar este aspecto, deve utilizar-se uma pausa adequada entre envios consecutivos de mensagens. Se mesmo assim ocorrerem perturbações, os testes em causa devem ser descartados.

Por razões práticas, deve ser definida uma janela de tempo para entrega das mensagens. As mensagens entregues após esta janela temporal devem ser consideradas como mensagens que falharam. Pode ocorrer que uma mensagem “atrasada” (entregue após a janela) interfira noutro teste. Para prevenir esta situação, sempre que o sistema o permita, deve ser definido um tempo máximo de vida para as mensagens enviadas. Nas situações em que esta solução não seja possível, os testes interferidos devem ser descartados.

Cada mensagem de teste deve ter associado um identificador único para facilitar a sua identificação na recepção e evitar ambiguidade na correlação entre mensagens enviadas e

recebidas. As mensagens recebidas que não sejam válidas (que não tenham sido enviadas pelo terminal originador ou que não façam parte da sessão de teste) devem ser ignoradas.

Os terminais móveis não devem apresentar quaisquer limitações de capacidade de memória física que possam afectar o envio ou a recepção de mensagens.

3.4.3.1 SMS – SERVIÇO DE MENSAGENS CURTAS

A mensagem de teste a utilizar nas análises do serviço SMS deve ter uma dimensão de 120 caracteres e devem ser utilizados caracteres diferentes para melhor verificação da integridade dos conteúdos.

Para que possam ser cumpridas as condições definidas na secção anterior os parâmetros de teste do serviço de mensagens SMS devem apresentar os seguintes valores [ETSI TS 102 250-5]:

- ▶ Dimensão da mensagem de teste: 120 caracteres;
- ▶ Sequência de caracteres da mensagem de teste: “The quick brown fox jumps over the lazy dog. 1234567890 aeiou QUICK BROWN FOX”;
- ▶ Janela temporal para entrega de SMS: 175 segundos;
- ▶ Pausa entre envios consecutivos de SMS: 70 segundos;
- ▶ *Service Accessibility SMS MO Timeout*: 65 segundos;
- ▶ *Access Delay SMS MO Timeout*: 65 segundos;
- ▶ *End-to-end Delivery Time SMS Timeout*: 175 segundos;

3.4.3.2 MMS – SERVIÇO DE MENSAGENS MULTIMÉDIA

O serviço de mensagens MMS permite aos utilizadores o envio de diferentes conteúdos, tais como texto, som e imagem que podem apresentar dimensões muito díspares. O utilizador pode optar por enviar numa mensagem apenas um tipo de conteúdo ou uma mistura destes, o que conduz a dimensões muito heterogéneas das MMS. Estes aspectos devem ser considerados na análise deste serviço pelo que se recomenda a utilização de mensagens de teste com diferentes dimensões para simulação das utilizações comuns do serviço.

Alguns dos parâmetros dos testes dependem directamente da dimensão da MMS. Tendo este aspecto em consideração e também as condições definidas na secção 3.4.3, os parâmetros de teste do serviço de mensagens MMS devem apresentar os seguintes valores [ETSI TS 102 250-5]:

► Dimensão da mensagem enviada:	2 kB	25 kB	90 kB
► Janela temporal para entrega de MMS:	595 s	650 s	806 s
► Pausa entre envios consecutivos de MMS:	120 s	120 s	120 s
► <i>MMS Send Failure Ratio (MO) Timeout &</i> <i>MMS Send Time (MO) Timeout:</i>	199 s	235 s	339 s
► <i>MMS Retrieval Failure Ratio (MT) Timeout &</i> <i>MMS Retrieval Time (MT) Timeout:</i>	197 s	215 s	267 s
► <i>MMS end-to-end Delivery Failure Ratio Timeout &</i> <i>MMS End-to-end Delivery Time Timeout:</i>	595 s	650 s	806 s
► <i>MMS Notification Failure Ratio Timeout &</i> <i>MMS Notification Time Timeout:</i>	120 s	120 s	120 s

3.4.4 SERVIÇOS DE DADOS

A unidade base de teste é a sessão de dados, podendo esta incluir um ou vários testes, tais como, envio/recepção de um e-mail (SMTP/POP3), envio/recepção de um ficheiro (FTP) ou recepção de uma página *web* (HTTP *browsing*).

As sessões de dados são estabelecidas entre equipamentos terminais móveis e Servidores de Teste, em modo de comutação de pacotes (sessões de dados suportadas em comutação de circuitos, embora tenham muitos aspectos comuns, não são abordadas nesta dissertação). Estas sessões são sempre iniciadas pelos equipamentos terminais móveis (*MO–Mobile Originated*).

A localização e as características dos servidores influenciam directamente os resultados dos testes. Podemos considerar três situações diferentes:

- A. Servidor comercial, com conteúdos de terceiros e acessível a partir da Internet;

- B. Servidor dedicado, acessível a partir da Internet, controlado e adequadamente dimensionado;
- C. Servidor dedicado, colocado no *core* (v.g. no GGSN) da rede do operador em teste e não acessível a partir da Internet.

Os servidores do tipo “A” não são passíveis de controlar, pelo sistema de medida, durante os testes, pelo que as condições de acesso e carga (tráfego de terceiros) podem afectar fortemente os resultados das medições. Adicionalmente, os conteúdos alojados nestes servidores apresentam natureza dinâmica, não permitindo as mesmas condições de teste ao longo do tempo. Sendo assim, não se recomenda a sua utilização. Os servidores do tipo “B” e “C” podem ser controlados e monitorizados durante os testes de forma a garantir a fiabilidade dos resultados. No entanto, para entidades externas ao operador detentor da rede (autoridades administrativas ou mesmo operadores concorrentes) pode ser inviável a utilização de um servidor do tipo “C”. Uma solução de compromisso passa pela utilização de um ou vários servidores colocados em *Data Centers* representativos do alojamento de conteúdos, ou seja, colocando os servidores nos locais onde se encontram os conteúdos mais acedidos pelos utilizadores da Internet. Estes servidores devem estar dedicados exclusivamente à realização destes testes, não apresentando limitações de capacidade de processamento e armazenamento de informação, disponibilidade e largura de banda de acesso. Nas situações de utilização de vários servidores, os resultados das medições devem ser ponderados pelo peso de cada *Data Center* na utilização da Internet.

Qualquer que seja a opção, os servidores *web*, e-mail e FTP devem funcionar nos mesmos moldes dos servidores disponíveis na Internet. Contudo, devem ser identificados através dos respectivos endereços IP e não através dos seus FQDN (*Fully Qualified Domain Name*) para evitar que possíveis problemas de resolução de DNS (*Domain Name Server*) e estratégias de *caching*, utilizadas pelo sistema operativo, possam afectar as medições.

Nos testes devem ser utilizados conteúdos estáveis, ou seja, páginas *web* e ficheiros que não apresentem variações quantitativas e qualitativas. A página *web* deve ser constituída por uma mistura de texto e imagens e não deve incluir conteúdos dinâmicos. O ETSI disponibiliza páginas *web* de referência para realização de testes [ETSI TR 102 505] [ETSI TS 102 250-5]. Os ficheiros de teste devem ser do tipo binário, constituídos por sequências

aleatórias de *bits*, para que não sejam passíveis de compressão. A dimensão (em kbit) destes ficheiros deve ser, pelo menos, o dobro do ritmo de transmissão teórico máximo (em kbps) do canal em estudo [ETSI EG 202 057-4].

Os processos de *login* e autenticação em servidores e-mail e FTP não devem ser considerados parte nos testes aos serviços. Devem ser assegurados os privilégios adequados de acesso a esses servidores e também que os ficheiros e mensagens e-mail se encontrem disponíveis, nos respectivos servidores, antes de se iniciar um teste de *download* (FTP *download* ou recepção de e-mail).

Após um ciclo de teste, todas as ligações aos servidores de teste devem ser encerradas, deve ser apagada a memória *cache* do *browser*, no caso de testes de HTTP *browsing*, e deve ser efectuada uma pausa antes de se iniciar o teste seguinte.

Tal como o servidor, o sistema de teste não deve ter limitações de espaço de armazenamento. Os seguintes elementos devem ser constantes em diferentes testes, para possibilitar a comparabilidade dos resultados:

- Sistema operativo (tipo e versão) e respectiva configuração;
- Dimensão da MTU (*Maximum Transmission Unit*);
- Localização do Servidor de Testes (Internet, GGSN, outra);
- Ritmo máximo de transmissão (de entrada e de saída) do Servidor de Testes (este aspecto não será relevante se a capacidade do servidor for suficientemente elevada, o que só pode ser garantido com servidores dedicados e controlados);
- Tipo e versão do *browser* utilizado, bem como a respectiva configuração (testes HTTP *browsing*);
- Dimensão e tipo de páginas *web* e ficheiros utilizados nos testes;
- Tipo de e-mail *client* e modo de autenticação utilizados (testes e-mail);
- Tipo de FTP *client* utilizado (testes FTP);
- Protocolo utilizado – TCP/IP ou UDP (testes FTP);
- Modo de transferência de dados utilizado – activo ou passivo (testes FTP).

Tendo em conta as considerações anteriormente apresentadas e as especificações do ETSI neste domínio [ETSI TS 102 250-5] foram definidos parâmetros gerais e específicos para cada tipo de serviço que permitem a exequibilidade dos testes e a comparabilidade dos resultados. Os parâmetros gerais de teste são os seguintes:

▶ Pausa entre sessões de dados:	30 s
▶ Pausa entre testes na mesma sessão de dados:	5 s
▶ <i>Attach Timeout:</i>	75 s
▶ <i>PDP Context Activation Timeout:</i>	150 s

Os parâmetros específicos para cada tipo de serviço de dados são apresentados nas secções seguintes.

3.4.4.1 HTTP *BROWSING*

Os parâmetros recomendados para análise do serviço HTTP *browsing* são os seguintes [ETSI TS 102 250-5]:

▶ Dimensão da página <i>web</i> :	270 kB
▶ <i>IP-Service Access Timeout:</i>	30 s
▶ <i>IP-Service Setup Time Timeout:</i>	30 s
▶ <i>Service Accessibility Timeout:</i>	180 s
▶ <i>Setup Time Timeout:</i>	180 s
▶ <i>Data Transfer Cut-off Timeout (Dual Mode – GPRS/UMTS):</i>	130 s

3.4.4.2 FTP *UPLOAD/DOWNLOAD*

Os parâmetros específicos recomendados para análise do serviço FTP *download/upload* são os seguintes [ETSI TS 102 250-5]:

	<u>upload</u>	<u>download</u>
▶ Dimensão do ficheiro binário (<i>Dual Mode – GPRS/UMTS</i>):	300 kB	500 kB
▶ <i>IP-Service Access Timeout:</i>	30 s	30 s

	<u>upload</u>	<u>download</u>
▶ <i>IP-Service Setup Time Timeout:</i>	30 s	30 s
▶ <i>Service Accessibility Timeout:</i>	180 s	180 s
▶ <i>Setup Time Timeout:</i>	180 s	180 s
▶ <i>Data Transfer Cut-off Timeout (Dual Mode – GPRS/UMTS):</i>	240 s	240 s

3.4.4.3 ENVIO/RECEPÇÃO DE E-MAIL

Para análise do serviço de *e-mail* recomenda-se a utilização dos seguintes parâmetros específicos [ETSI TS 102 250-5]:

	<u>envio</u>	<u>recepção</u>
▶ Dimensão da mensagem (texto):	1.000 B	1.000 B
▶ Dimensão do ficheiro anexo à mensagem:	500 kB	500 kB
▶ Protocolo de transferência utilizado:	SMTP	POP3
▶ <i>IP-Service Access Timeout:</i>	60 s	60 s
▶ <i>IP-Service Setup Time Timeout:</i>	60 s	60 s
▶ <i>Service Accessibility Timeout:</i>	210 s	210 s
▶ <i>Setup Time Timeout:</i>	210 s	210 s
▶ <i>Data Transfer Cut-off Timeout (Dual Mode – GPRS/UMTS):</i>	440 s	240 s

3.4.4.4 PING

Para realização dos testes de *ping* recomenda-se a utilização dos seguintes parâmetros [ETSI TS 102 250-5]:

- ▶ Dimensão do pacote de dados utilizado:
 - 32 Bytes, para débitos máximos de 384 kbps;
 - 256 Bytes, para débitos superiores a 384 kbps
(para evitar que o teste ocorra em CELL_FACH);
- ▶ ICMP Echo Timeout: 10 segundos.

3.5 PERSPECTIVA DE ANÁLISE INTER-REDES

Os indicadores de QoS e os perfis de medida definidos nas secções anteriores pressupõem uma perspectiva intra-rede móvel, que corresponde à maioria das utilizações dos serviços. Esta é também a perspectiva mais utilizada em análises de QoS, sendo recomendada por organismos como o ITU e o ETSI.

Assiste-se actualmente a um crescente aumento do tráfego inter-redes pelo que esta perspectiva deverá ser considerada em análises de QoS futuras. Sem prejuízo de um estudo mais aprofundado que esta questão merece, apresentam-se nesta secção alguns aspectos que devem ser considerados em análises de QoS que contemplem esta perspectiva.

Os indicadores de medida apresentados nas secções anteriores poderão ser mantidos na sua globalidade, sendo apenas necessário que na apresentação de resultados sejam identificados claramente os sistemas celulares envolvidos. A disponibilidade e a acessibilidade das redes radioelétricas de acesso terão que ser analisadas para os dois sistemas celulares envolvidos na comunicação (o de origem e o de destino).

A maioria das considerações apresentadas nos perfis de medida, caracterizados nas secções anteriores, aplicam-se à perspectiva de análise inter-redes, salvo alguns aspectos que carecem de reformulação. Os extremos envolvidos nos testes aos serviços de telefonia e de mensagens terão que pertencer aos sistemas celulares envolvidos na prestação desses serviços, ou seja, as comunicações serão originadas num terminal de um dos sistemas e terminadas num terminal do outro sistema e *vice-versa*. Em consequência não poderão ser utilizadas terminações em redes fixas RDIS.

São possíveis várias configurações de teste, entre as quais:

- Os dois terminais estáticos;
- Os dois terminais em movimento;
- O terminal de um dos sistemas estático e o terminal do outro sistema em movimento (e/ou *vice-versa*).

As parametrizações de teste anteriormente apresentadas poderão não ser adequadas. É necessária uma análise profunda e a reformulação destes parâmetros em conformidade com as conclusões obtidas.

Um dos aspectos mais relevantes para o consumidor é conhecer o responsável (ou os responsáveis) pela QoS dos serviços que paga. A clarificação deste aspecto só será possível se forem definidos e implementados mecanismos de teste e análise que permitam qualificar e quantificar o contributo de cada sistema celular, envolvido na prestação do serviço em análise, para o índice de QoS observado.

3.6 CONCLUSÃO

A *Qualidade de Serviço na Perspectiva de Utilizador* corresponde à percepção de qualidade sentida pelo utilizador quando utiliza um serviço, indicando o seu grau de satisfação em termos de, por exemplo, acessibilidade, retenção e integridade do serviço, sendo normalmente expressa em termos de sensações humanas, do tipo, “excelente”, “boa”, “aceitável”, “pobre” e “má”. O *Desempenho da Rede*, embora indissociável da QoS na perspectiva do utilizador, é um conceito puramente técnico medido, expresso e entendido numa óptica de rede ou dos seus elementos, apresentando pouco significado para o utilizador.

Os serviços mais comuns nos sistemas de comunicações móveis actuais, em razão da sua relevância para os utilizadores finais e da sua disponibilização pelos vários operadores presentes no mercado nacional e internacional, são a voz, a videotelefonia, o SMS, o MMS, o acesso a páginas *web* (HTTP *browsing*), a transferência de informação (FTP) e o e-mail. A disponibilidade e acessibilidade das redes radioeléctricas de suporte a estes serviços devem também ser consideradas nas análises de QoS.

Para cada um dos serviços identificados foram definidos indicadores específicos para caracterização da QoS em cada uma das fases da sua utilização, ou seja, indicadores do grau de satisfação do utilizador em termos de acessibilidade, retenção e integridade do serviço e também indicadores do grau de disponibilidade e acessibilidade das redes de suporte ao serviço. Estes indicadores de QoS têm por base testes de campo, efectuados na perspectiva do utilizador com recurso a um sistema automático de medida, reflectindo os vários aspectos que afectam a qualidade do serviço (medições extremo-a-extremo).

Nos perfis de medida foi definido um conjunto de condições que devem ser acauteladas para a correcta aferição da qualidade dos serviços e garantia da fiabilidade dos testes. Contemplam ainda a normalização de processos e a definição de parâmetros de teste e medida, coerentes com organismos de normalização internacional como o ITU e o ETSI, de forma a permitirem a exequibilidade das análises e a comparabilidade dos resultados obtidos.

Capítulo 4

CASO DE ESTUDO

Neste capítulo é feita a validação dos indicadores e perfis de medida, caracterizados nos capítulos anteriores, através da realização de um estudo real. São analisados os serviços de voz, videotelefonia, SMS, MMS, FTP *upload* e *download*, HTTP *browsing*, envio e recepção de *E-Mail*, e também a disponibilidade das redes radioelétricas (cobertura) GSM e WCDMA de dois operadores portugueses. A análise permitiu concluir que os indicadores e perfis de medida são adequados para avaliação da QoS na perspectiva do utilizador de serviços e sistemas móveis.

4.1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo, apresenta-se um estudo de avaliação de desempenho de dois sistemas de comunicações móveis portugueses, em que foram aplicados os indicadores e perfis de medida definidos e caracterizados nos capítulos anteriores.

Os serviços analisados foram a voz, videotelefonia, SMS, MMS, FTP *upload* e *download*, HTTP *browsing*, envio e recepção de *E-Mail* e também a disponibilidade das redes radioelétricas (cobertura) GSM e WCDMA.

Nos testes de campo foi utilizado o mesmo sistema de teste/medida e as duas redes foram analisadas em simultâneo e nos mesmos locais.

A análise dos serviços de voz, videotelefonia e também a disponibilidade radioelétrica foi realizada em movimento (*drive-tests*), nas principais ruas da cidade de Lisboa. As sessões de teste foram realizadas em dias úteis, entre as 8h00 e as 20h00, na primeira quinzena de Dezembro de 2006 e tiveram uma duração total aproximada de 7 horas.

Na análise dos serviços de dados e de mensagens foi seguida uma abordagem nómada. Nos testes de SMS e MMS os equipamentos terminais originadores de mensagens encontravam-se na cidade do Porto, enquanto que os receptores se encontravam em Lisboa. Os testes de dados foram realizados entre terminais localizados em Lisboa e um servidor de testes, adequadamente (sobre)dimensionado, dedicado e controlado, colocado na Internet. Estes testes decorreram em dias úteis, de Março e Abril de 2007, durante cerca de 24 horas consecutivas. Tanto para mensagens como para dados, os locais de teste apresentavam (muito) boas condições radioelétricas.

Os equipamentos terminais móveis utilizados nos testes ao serviço de voz encontravam-se forçados em GSM, enquanto que os utilizados nos testes aos restantes serviços encontravam-se em selecção automática da tecnologia de suporte.

Para simular uma utilização normal dos serviços, de voz e de videotelefonia, foi utilizada uma duração de 120 segundos para as chamadas de teste. Em cada chamada de voz foram enviadas 7 amostras de áudio, cada uma com 6 segundos de duração, em cada sentido da

comunicação. Em videotelefonia foi enviada apenas uma sequência de áudio/vídeo, também com 6 segundos de duração, em cada sentido. Para cada um destes subtestes, foi calculado o índice de qualidade áudio e/ou vídeo através dos algoritmos PESQ e VQuad. O índice de qualidade, por chamada, foi obtido pela média aritmética dos índices calculados nos subtestes.

Na análise do desempenho do serviço de MMS foi utilizada uma mensagem com dimensão de 25 kByte. Para análise dos serviços de dados, foram estabelecidas sessões (*attach + PDP Activation*) e, em cada uma destas, foi realizada a seguinte sequência de testes:

1. *Ping* (pacote de dados de 32 bytes);
2. *Ping* (pacote de dados de 32 bytes);
3. *HTTP browsing*;
4. *FTP upload* (modo activo);
5. *FTP download* (modo activo);
6. Envio de E-mail (SMTP);
7. Recepção de E-Mail (POP3).

Entre cada um destes testes definiu-se uma pausa mínima de 5 segundos.

4.2 SISTEMA DE MEDIDA E PÓS-PROCESSAMENTO

Nas medidas no terreno e pós-processamento foi utilizado o sistema *Seven.Five/NetQual*, concebido e desenvolvido pela *SwissQual, A.G.* (Suíça). Trata-se de um conjunto de ferramentas desenhadas especificamente para análise e *benchmarking* de sistemas de comunicações móveis. O sistema é composto pelos seguintes módulos:

- a. **7.5 Multi** – Unidade Móvel, com *scanner* de RF e equipamentos terminais móveis comerciais (nos estudos realizados foram utilizados terminais NOKIA 6680);
- b. **Land Unit** – Unidade Fixa, com cartas de interface RDIS, utilizada para testes de voz;

- c. **Video Call Server** – Unidade Fixa, com equipamentos terminais móveis comerciais (também NOKIA 6680), utilizado para testes de videotelefonia;
- d. **Media Server** – Unidade Fixa, servidor utilizado para testes de dados e de videostreaming;
- e. **NQDI** – Sistema de Pós-processamento, para análise e reporte das medidas realizadas.

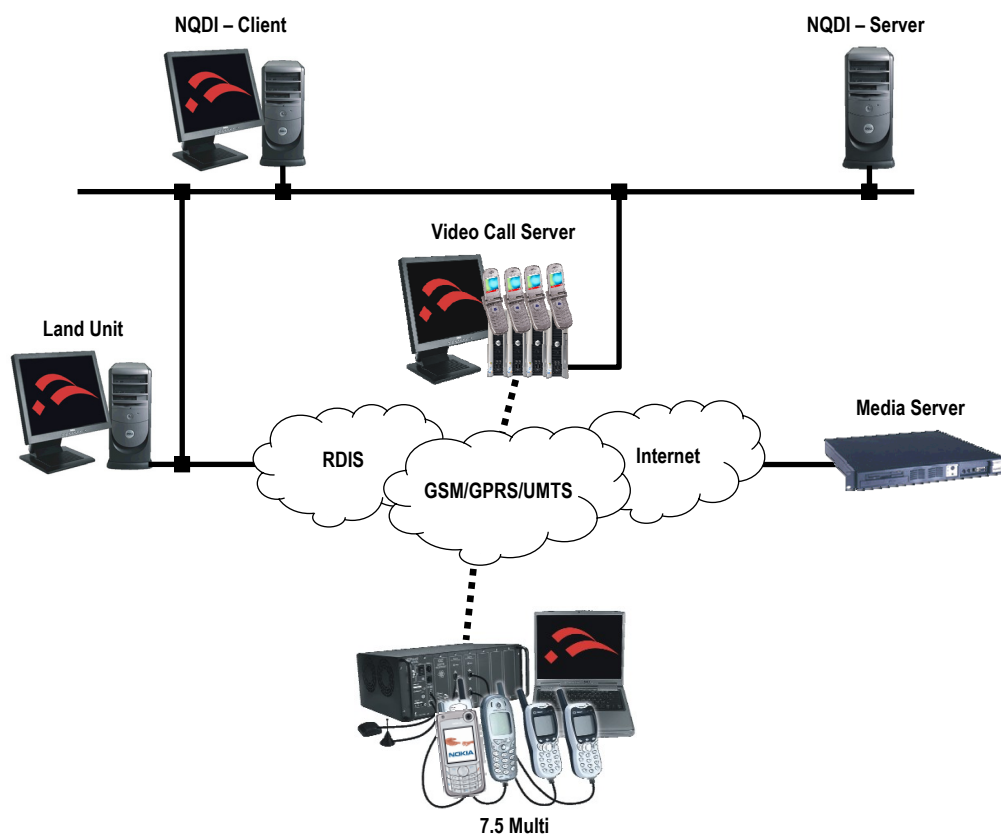


Figura 4-1 – Arquitectura do Sistema *Seven.Five*

4.3 RESULTADOS E ANÁLISE

Nas secções seguintes são apresentados e analisados os resultados obtidos pelos sistemas de comunicações móveis para cada serviço.

4.3.1 DISPONIBILIDADE DAS REDES RADIOELÉTRICAS (GSM/WCDMA)

Os níveis radioelétricos registados, tanto em GSM como em WCDMA, apresentam valores dentro dos níveis recomendados para a prestação de serviços. Não se observam diferenças significativas entre os operadores estudados.

Na Tabela 4-1, Figura 4-2 e Figura 4-3 são apresentados os resultados dos testes realizados.

Tabela 4-1 – Resultados da análise da cobertura radioelétrica GSM e WCDMA

		GSM		WCDMA	
		Operador A	Operador B	Operador A	Operador B
Cobertura	Número de Amostras (Medições)	26.656	26.608	9.628	9.674
	Nível Médio de Sinal [dBm]	-41	-41	-62	-61
	Nível Máximo de Sinal [dBm]	-6	-8	-26	-28
	Nível Mínimo de Sinal [dBm]	-93	-87	-109	-96
	Desvio Padrão [dBm]	10	10	11	11

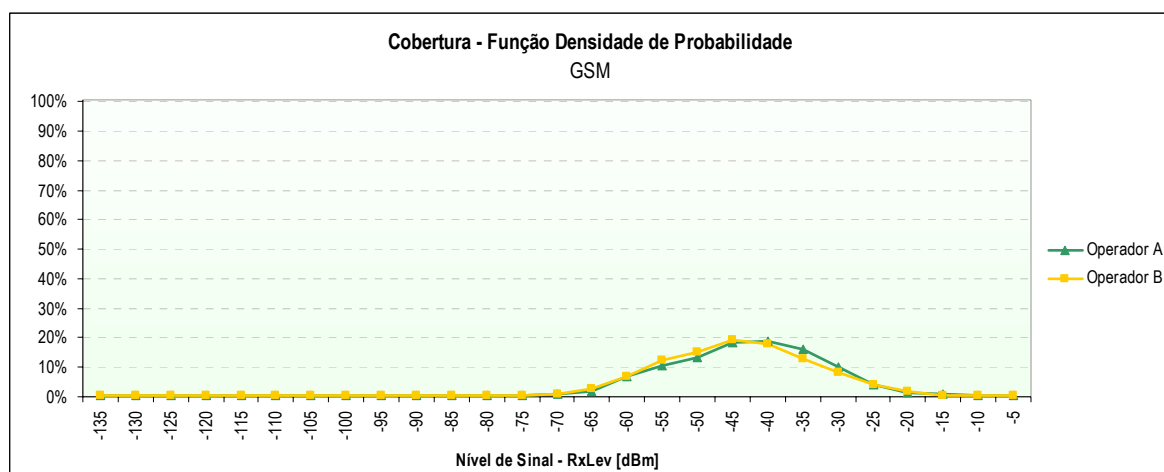


Figura 4-2 – Função Densidade de Probabilidade do indicador *Cobertura Radioelétrica*, em GSM

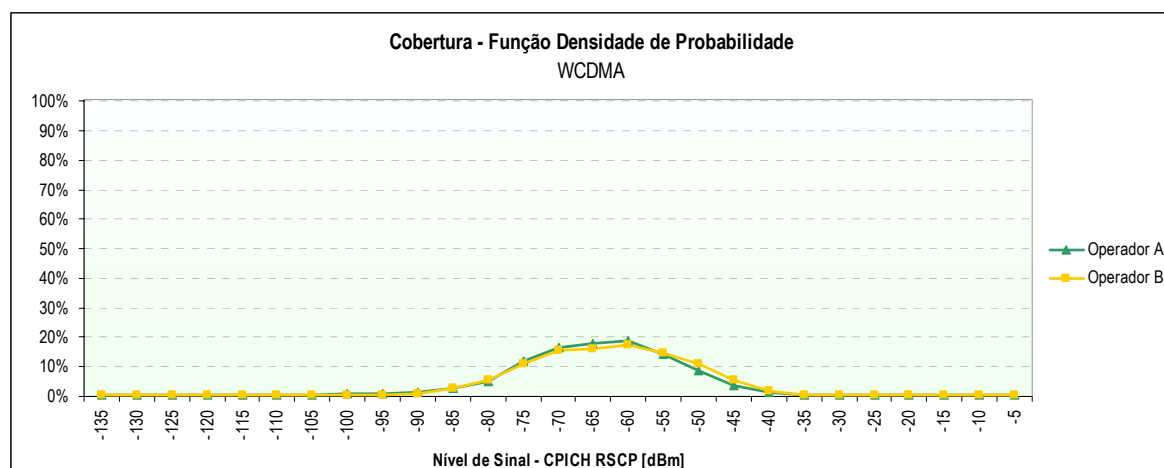


Figura 4-3 – Função Densidade de Probabilidade do indicador *Cobertura Radioelétrica*, em WCDMA

4.3.2 SERVIÇO DE VOZ (GSM)

Na Tabela 4-2, são apresentados os resultados obtidos nos testes realizados ao serviço de VOZ.

Tabela 4-2 – Resultados da análise do serviço de voz

		Operador A		Operador B	
		Móvel→Fixo	Fixo→Móvel	Móvel→Fixo	Fixo→Móvel
Chamadas Realizadas	Número de Chamadas	72	71	70	68
	Falhadas no Estabelecimento	1	1	0	0
	Falhadas Durante a Chamada	2	2	1	0
	Com Terminação Normal	69	68	69	68
	Acessibilidade do Serviço	98,6%	98,6%	100,0%	100,0%
	Taxa de Terminação de Chamadas	97,2%	97,1%	98,6%	100,0%
Estabelecimento das Chamadas	Número de Amostras (Chamadas)	71	70	70	68
	Tempo Médio [s]	5,7	8,5	4,5	6,7
	Tempo Máximo [s]	6,8	12,9	5,4	8,7
	Tempo Mínimo [s]	5,3	7,0	4,0	5,6
	Desvio Padrão [s]	0,3	0,8	0,3	0,6
Qualidade Áudio	Número de Amostras (Chamadas)	136	137	137	137
	Média [MOS]	3,92	3,88	3,89	3,89
	Máxima [MOS]	3,96	3,97	3,96	3,98
	Mínima [MOS]	3,48	3,25	3,51	3,25
	Desvio Padrão [MOS]	0,06	0,10	0,08	0,10

A *Acessibilidade* e a *Taxa de Terminação de Chamadas* do serviço de voz, suportado em GSM, apresenta bons níveis de desempenho, destacando-se pela positiva o operador B com

100% de sucesso no estabelecimento de chamadas e apenas uma chamada perdida durante a fase de conversação (Figura 4-4).

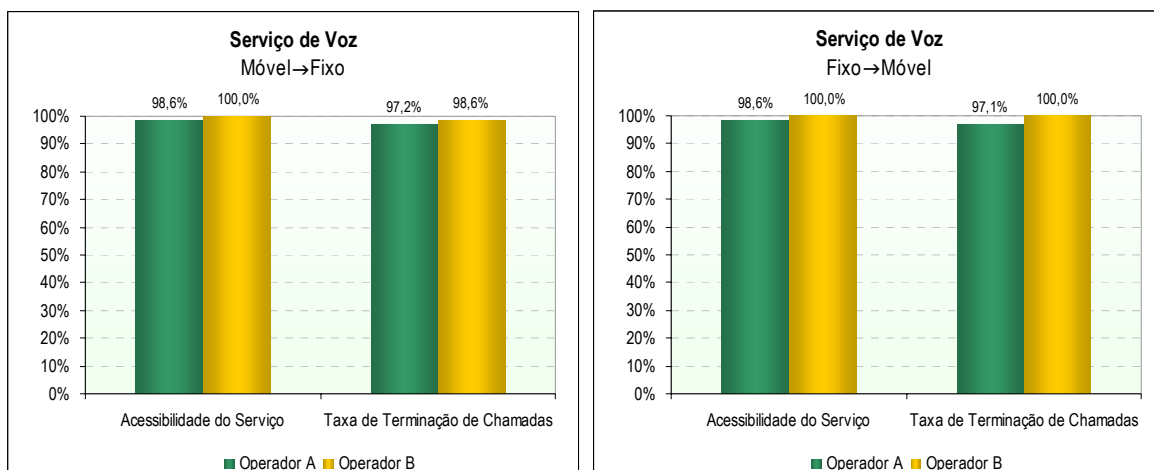


Figura 4-4 – Indicadores *Acessibilidade de Serviço* e *Taxa de Terminação de Chamadas*, do serviço de voz

O *Tempo de Estabelecimento de Chamadas* também apresenta valores dentro das expectativas para este serviço. Mais uma vez, o operador B apresenta o melhor desempenho (Figura 4-5).

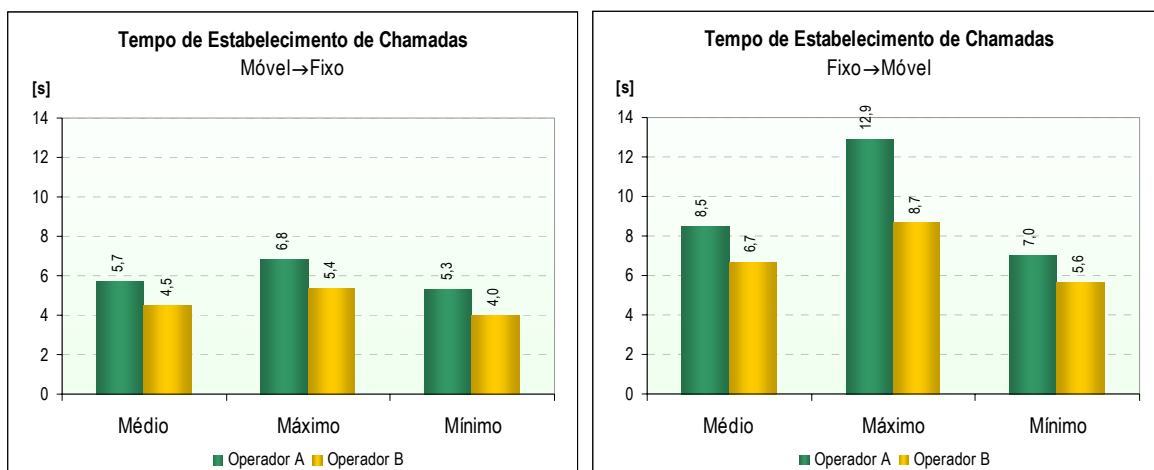


Figura 4-5 – Indicador *Tempo de Estabelecimento de Chamadas*, do serviço de voz

A *Qualidade Áudio* média por chamada encontra-se no patamar “Boa”, não se observando diferenças significativas entre os dois operadores estudados (Figura 4-6, Figura 4-7 e Figura 4-8).

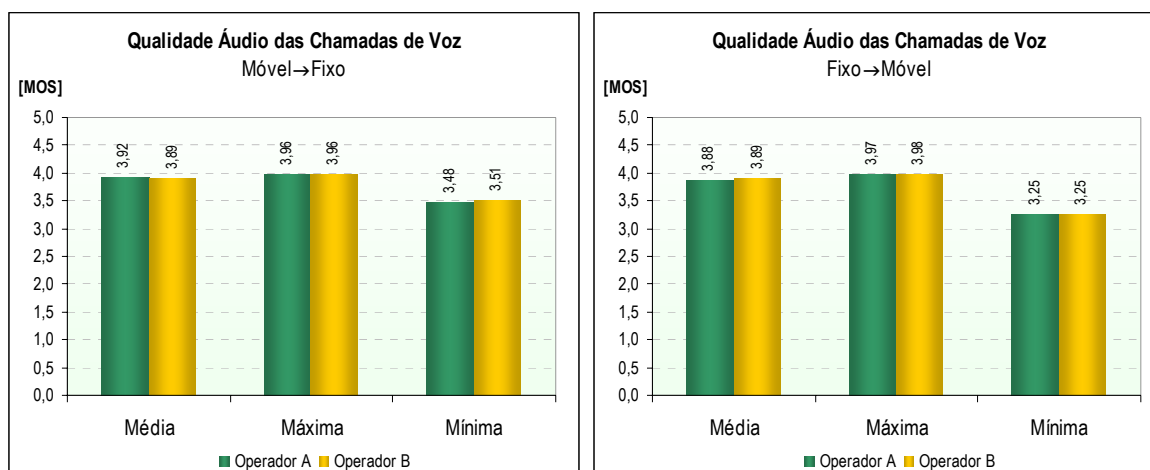


Figura 4-6 – Indicador *Qualidade Áudio de Chamadas*, do serviço de voz

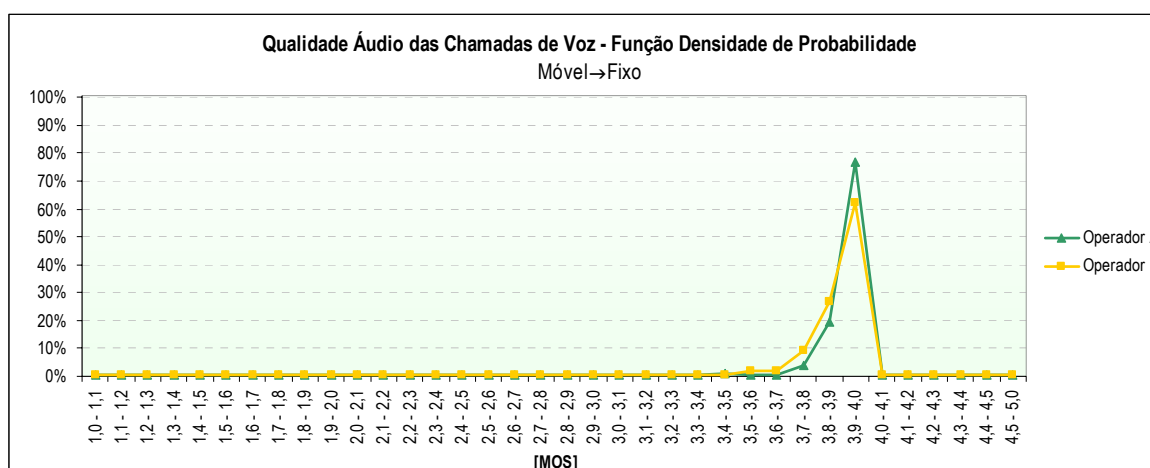


Figura 4-7 – Função Densidade de Probabilidade do indicador *Qualidade Áudio de Chamadas*, do serviço de voz (Móvel→Fixo)

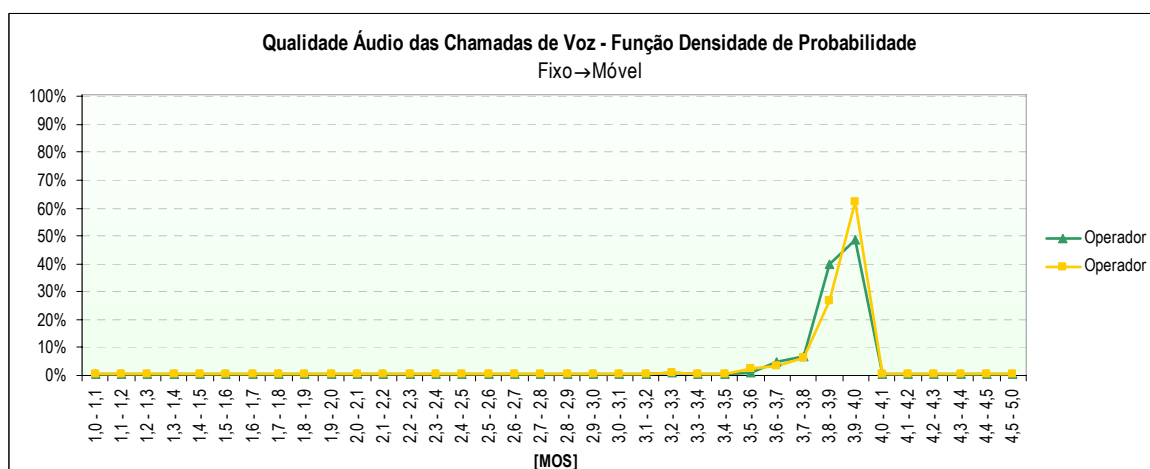


Figura 4-8 – Função Densidade de Probabilidade do indicador *Qualidade Áudio de Chamadas*, do serviço de voz (Fixo→Móvel)

Com a expectável excepção do tempo de estabelecimento de chamadas, não são significativas as diferenças entre *uplink* (Móvel→Fixo) e *downlink* (Fixo→Móvel).

Assim, face aos resultados obtidos verifica-se que o operador B apresenta melhor desempenho do serviço de voz. Este operador não apresenta bloqueios no acesso ao serviço, estabelece mais rapidamente as chamadas e as terminações da utilização do serviço contra a vontade do utilizador são reduzidas e muito menores do que as registadas pelo operador A. Os dois operadores apresentam boa integridade do serviço de voz com os valores médios por chamada próximos dos limites máximos permitidos pelos *codec* de voz actualmente utilizados por estes operadores.

4.3.3 SERVIÇO DE VIDEOTELEFONIA (UMTS)

Os resultados dos testes realizados ao serviço de videotelefonia são apresentados na tabela seguinte (Tabela 4-3).

Tabela 4-3 – Resultados da análise do serviço de videotelefonia

		Operador A	Operador B
		Móvel↔Móvel	Móvel↔Móvel
Chamadas Realizadas	Número de Chamadas	125	125
	Falhadas no Estabelecimento	22	8
	Falhadas Durante a Chamada	1	5
	Com Terminação Normal	102	112
	Acessibilidade do Serviço	82,4%	93,6%
	Taxa de Terminação de Chamadas	99,0%	95,7%
Estabelecimento das Chamadas	Número de Amostras (Chamadas)	103	117
	Tempo Médio [s]	10,8	6,3
	Tempo Máximo [s]	17,5	12,8
	Tempo Mínimo [s]	7,9	4,6
	Desvio Padrão [s]	1,7	1,6
Qualidade Áudio	Número de Amostras (Chamadas)	202	224
	Média [MOS]	3,89	3,87
	Máxima [MOS]	4,06	4,06
	Mínima [MOS]	1,00	1,00
	Desvio Padrão [MOS]	0,43	0,29
Qualidade Vídeo	Número de Amostras (Chamadas)	200	224
	Média [MOS]	3,27	2,97
	Máxima [MOS]	3,68	3,68
	Mínima [MOS]	1,95	2,00
	Desvio Padrão [MOS]	0,52	0,56

As chamadas falhadas no estabelecimento e na fase de conversação representam 18,4% e 10,4% do total de chamadas de teste realizadas através dos operadores A e B, respectivamente, o que deixa os indicadores *Acessibilidade do Serviço* e *Taxa de Terminação de Chamadas* aquém dos valores esperados (Figura 4-9).

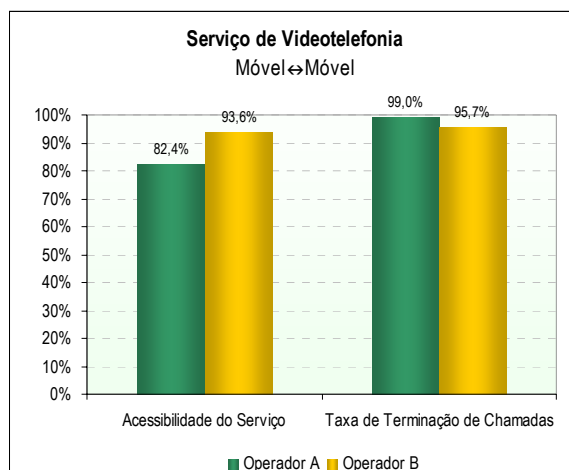


Figura 4-9 – Indicadores *Acessibilidade de Serviço* e *Taxa de Terminação de Chamadas*, do serviço de videotelefonia

Tal como esperado para este serviço, o tempo médio de estabelecimento de chamadas é ligeiramente superior ao observado no serviço de voz. O melhor desempenho foi registado pelo operador B (Figura 4-10).

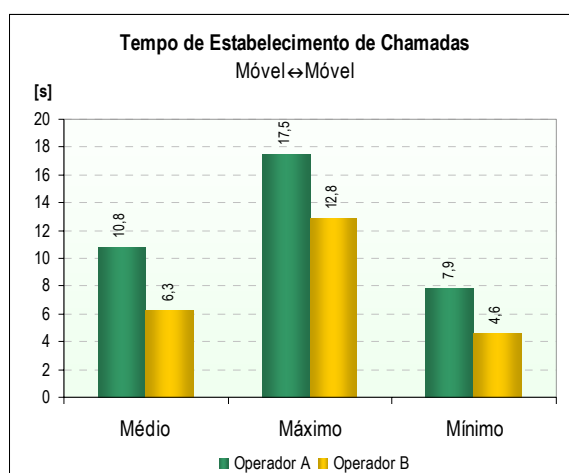


Figura 4-10 – Indicador *Tempo de Estabelecimento de Chamadas*, do serviço de videotelefonia

A *Qualidade Áudio* média, por chamada de videotelefonia, encontra-se no nível “Boa”, à semelhança do registado em voz, e também não se observam diferenças significativas entre operadores (Figura 4-11 e Figura 4-12).

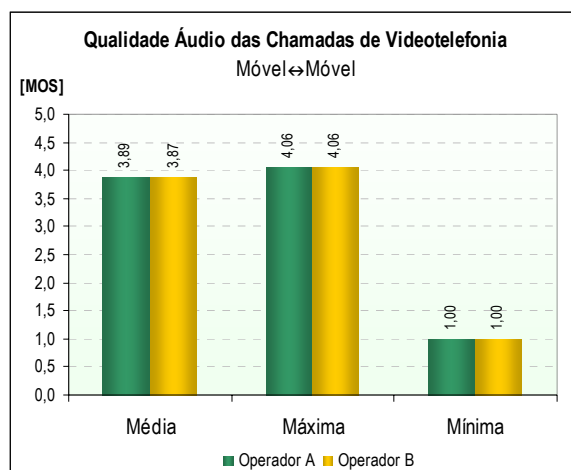


Figura 4-11 – Indicador *Qualidade Áudio de Chamadas*, do serviço de videotelefonia

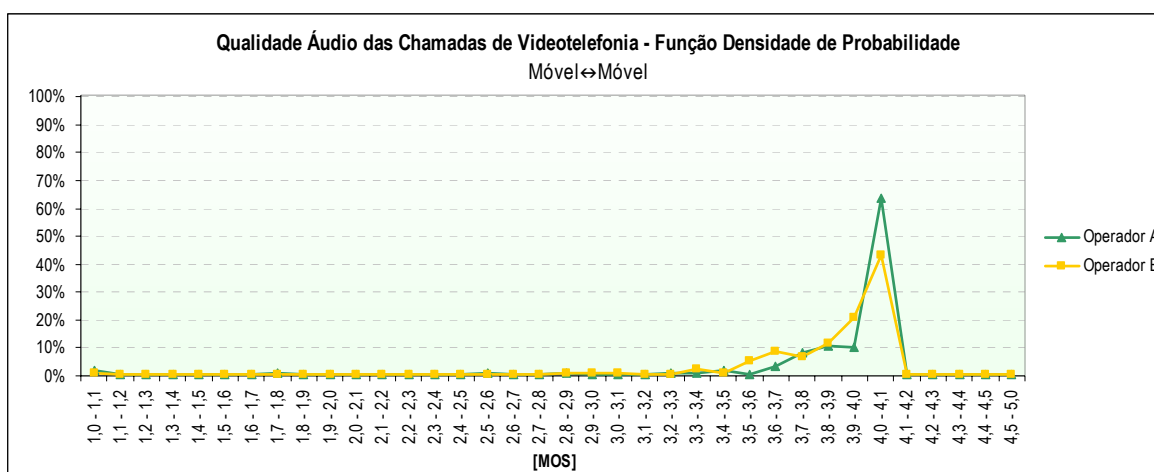


Figura 4-12 – Função Densidade de Probabilidade do indicador *Qualidade Áudio de Chamadas*, do serviço de videotelefonia

No que respeita à *Qualidade Vídeo* média, observada nas chamadas de teste, encontra-se no patamar “Aceitável”, com o desempenho do operador A ligeiramente melhor do que o registado pelo operador B (Figura 4-13 e Figura 4-14).

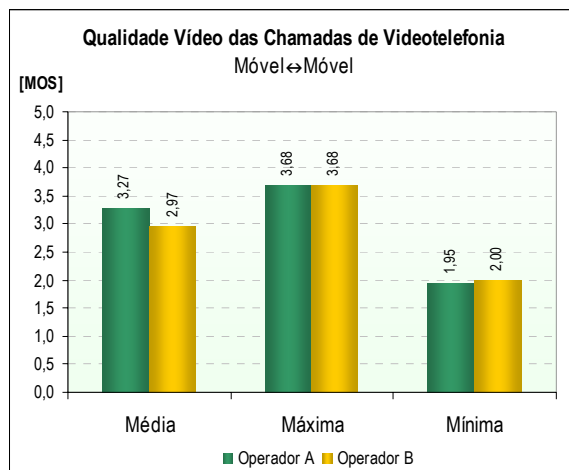


Figura 4-13 – Indicador *Qualidade Vídeo de Chamadas*, do serviço de videotelefonia

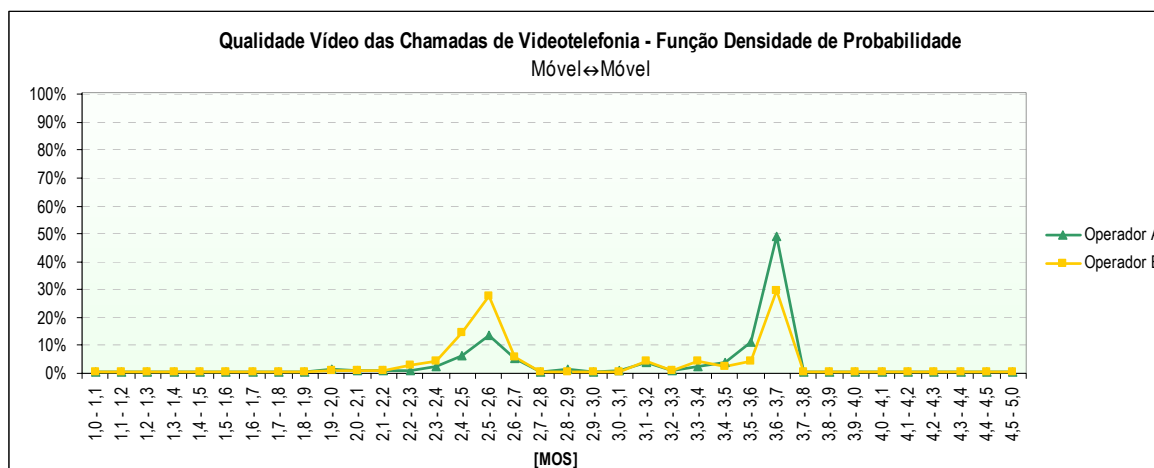


Figura 4-14 – Função Densidade de Probabilidade do indicador *Qualidade Vídeo de Chamadas*, do serviço de videotelefonia

O desempenho do serviço de videotelefonia é claramente inferior ao do serviço de voz, estando ainda aquém das expectativas dos utilizadores, o que pode ser justificado pelos diferentes graus de maturação das tecnologias envolvidas e da experiência dos operadores na implementação e optimização destes sistemas celulares.

Os resultados observados não permitem concluir qual o operador que globalmente apresenta melhor desempenho do serviço de videotelefonia. O operador A apresenta bloqueios no acesso ao serviço preocupantes; apenas 82,4% das chamadas foram estabelecidas com sucesso, no entanto apresenta boa capacidade de retenção de chamadas,

apenas 1% das chamadas estabelecidas terminaram antes do momento previamente determinado. Já o operador B apresenta menores bloqueios no acesso ao serviço, embora mesmo assim se encontrem aquém das expectativas dos utilizadores, mas apresenta pior capacidade de retenção do serviço, cerca de 4,3% das chamadas estabelecidas terminaram prematuramente durante a fase de conversação.

O tempo de estabelecimento de chamadas é superior ao registado no serviço de voz, já que em videotelefonia é necessário realizar um procedimento adicional de negociação do estabelecimento da comunicação áudio/vídeo entre os equipamentos terminais móveis envolvidos na chamada. O operador B apresenta claramente o melhor desempenho necessitando, em média, de apenas mais dois segundos do que em voz para estabelecer uma chamada de videotelefonia. Por seu lado, o operador A necessita, em média, mais cinco segundos do que em voz para estabelecer o mesmo tipo de chamada.

No que respeita à integridade do serviço de videotelefonia observam-se melhores resultados médios por chamada em áudio do que em vídeo. O desempenho da componente vídeo da chamada ainda se encontra muito aquém do desejado pelos utilizadores, o que se deve à imaturidade e limitações técnicas que os sistemas móveis e os próprios equipamentos terminais ainda apresentam. O operador A apresenta o melhor desempenho, superiorizando-se ao operador B tanto em áudio como em vídeo.

4.3.4 SMS – SERVIÇO DE MENSAGENS CURTAS (GSM/GPRS/UMTS)

Na Tabela 4-4, apresentam-se os resultados da análise de desempenho efectuada aos serviços SMS dos mesmos dois operadores portugueses.

O serviço SMS apresenta um excelente desempenho, em particular o operador A que registou acessibilidade plena ao serviço e 99,8% de sucesso na entrega de mensagens.

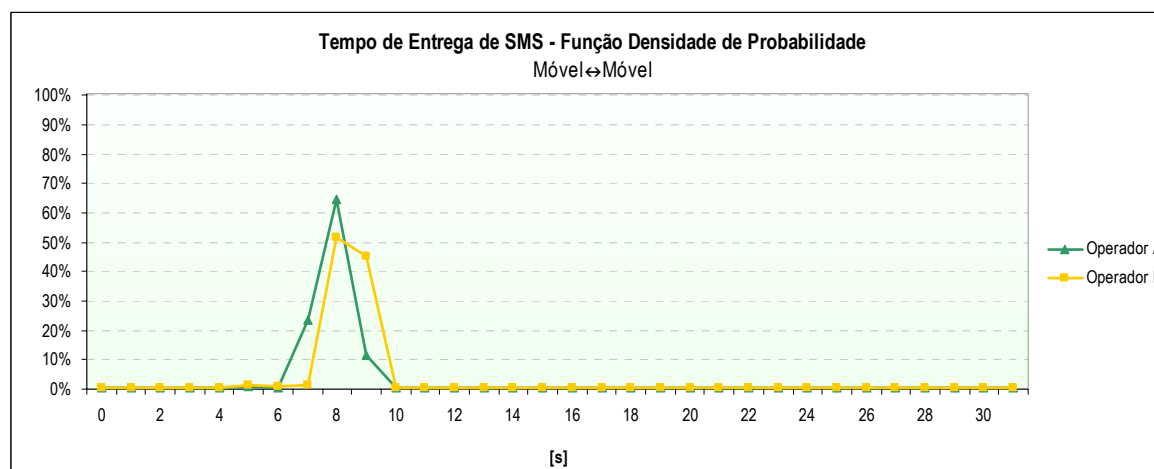
O tempo médio necessário para enviar uma SMS encontra-se dentro de patamares expectáveis. O operador A apresenta o melhor desempenho, necessitando, em média, de 4,8 segundos para enviar uma mensagem.

Tabela 4-4 – Resultados da análise do serviço de mensagens SMS

		Operador A	Operador B
		Móvel↔Móvel	Móvel↔Móvel
Mensagens SMS	Tentativas de Envio	1.055	1.042
	Enviadas com Sucesso	1.055	1.042
	Recebidas com Sucesso	1.053	1.033
	Acessibilidade do Serviço	100,0%	100,0%
	Taxa de Entrega de SMS	99,8%	99,1%
	Tempo Médio de Envio [s]	4,8	6,3
	Tempo Máximo de Envio [s]	36,9	7,0
	Tempo Mínimo de Envio [s]	1,7	3,1
	Desvio Padrão [s]	1,0	0,4
	Tempo Médio de Entrega [s]	7,4	8,2
	Tempo Máximo de Entrega [s]	88,1	90,0
	Tempo Mínimo de Entrega [s]	3,6	4,1
	Desvio Padrão [s]	2,6	4,5

Para entrega de uma mensagem ao terminal de destino, registaram-se tempos médios de 7,4 e 8,2 segundos, respectivamente para o operador A e B, o que permite concluir que as redes apresentam bom desempenho. Acrescenta-se ainda que das 2.086 mensagens entregues, apenas 10 (0,48%) apresentaram tempo de entrega superior a 10 segundos (Figura 4-15).

Como foram realizados testes consecutivos durante 24 horas, é possível analisar o comportamento do indicador *Tempo de Entrega de SMS* ao longo do dia (Figura 4-16). Não se observam oscilações significativas deste indicador.

**Figura 4-15** – Função Densidade de Probabilidade do indicador *Tempo de Entrega de SMS*

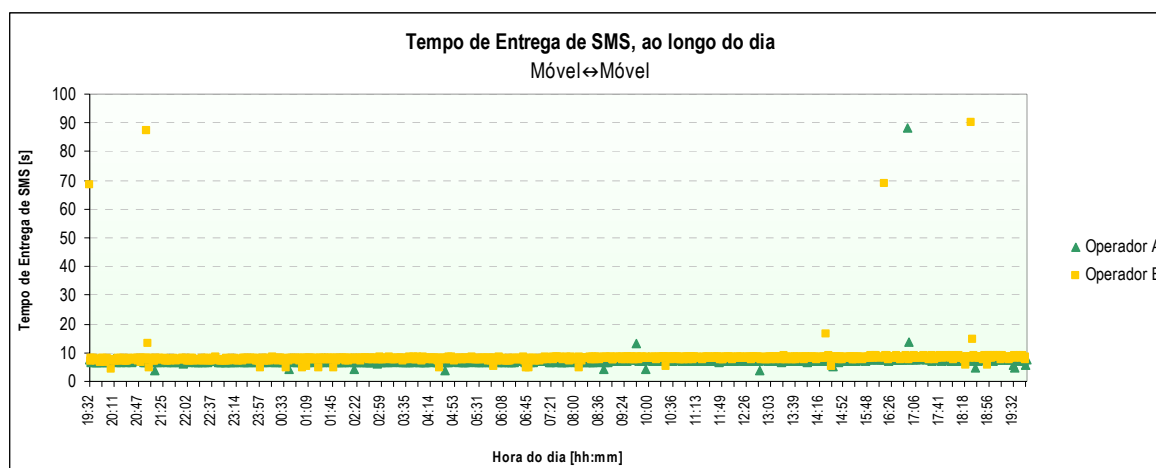


Figura 4-16 – Tempo de entrega de SMS, ao longo do dia

Os operadores portugueses analisados neste estudo apresentam melhor desempenho do serviço SMS do que os congéneres franceses. Um estudo realizado em 2006 [ARCEP, 2006], pela entidade reguladora francesa para o sector das comunicações electrónicas, indica que os operadores franceses apresentam uma taxa média de entrega de SMS de 99% e necessitam de 30 segundos para entregar 99% das SMS.

4.3.5 MMS – SERVIÇO DE MENSAGENS MULTIMÉDIA (GSM/GPRS/UMTS)

O desempenho do serviço de mensagens MMS fica aquém do observado para o serviço SMS, como se pode concluir da análise dos resultados, dos testes realizados a este serviço, que se apresentam na Tabela 4-5.

As causas do desempenho registado radicam nas falhas de acesso ao serviço, 0,8% no operador B, nas falhas de notificação, 2% em cada operador, e nas falhas no *download* da mensagem, 1,4% no operador B. Em consequência, o operador A entrega 98% das mensagens enviadas, enquanto que o B entrega 95,8% (Figura 4-17).

No que respeita a tempos de entrega, este indicador apresenta valores médios bons, sem diferenças significativas entre os operadores estudados. Cerca de 98,8% das mensagens entregues apresentaram tempo de entrega inferior a 1 minuto (Figura 4-18).

As redes portuguesas apresentam melhor desempenho do serviço MMS do que as suas congéneres francesas. Comparando os resultados obtidos neste estudo com os resultados de

um estudo realizado em 2006 [ARCEP, 2006], pela entidade reguladora francesa para o sector das comunicações electrónicas, verifica-se que as redes dos dois operadores portugueses e dos três operadores franceses apresentam taxas médias de entrega de MMS iguais (97%). No entanto as redes francesas necessitam de 2 minutos para entregar 95% das MMS enquanto que as redes portuguesas entregam 95,8% das MMS em metade desse tempo (num minuto).

Tabela 4-5 – Resultados da análise do serviço de mensagens MMS

		Operador A	Operador B
		Móvel↔Móvel	Móvel↔Móvel
Mensagens MMS	Tentativas de Envio	613	602
	Enviadas com Sucesso	613	597
	Notificações Recebidas pelo Receptor	601	585
	Recebidas com Sucesso	601	577
	Taxa de Envio	100,0%	99,2%
	Taxa de Notificação	98,0%	98,0%
	Taxa de Recepção	100,0%	98,6%
	Taxa de Entrega	98,0%	95,8%
	Velocidade Média de Envio [kbps]	34,1	28,5
	Velocidade Máxima de Envio [kbps]	45,2	32,5
	Velocidade Mínima de Envio [kbps]	14,6	7,4
	Desvio Padrão [kbps]	3,3	2,6
	Velocidade Média de Recepção [kbps]	44,5	30,5
	Velocidade Máxima de Recepção [kbps]	49,4	34,0
	Velocidade Mínima de Recepção [kbps]	15,0	16,3
	Desvio Padrão [kbps]	3,6	2,7
	Tempo Médio de Entrega [s]	37,8	38,1
	Tempo Máximo de Entrega [s]	549,0	257,0
	Tempo Mínimo de Entrega [s]	29,0	32,0
	Desvio Padrão [s]	31,0	10,9

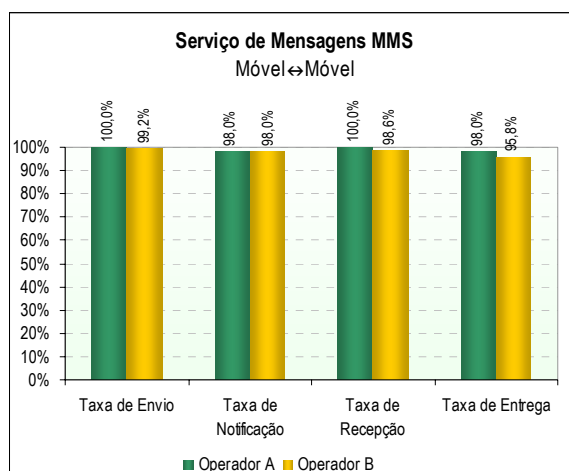


Figura 4-17 – Taxas de *Envio*, *Notificação*, *Recepção* e *Entrega* de MMS

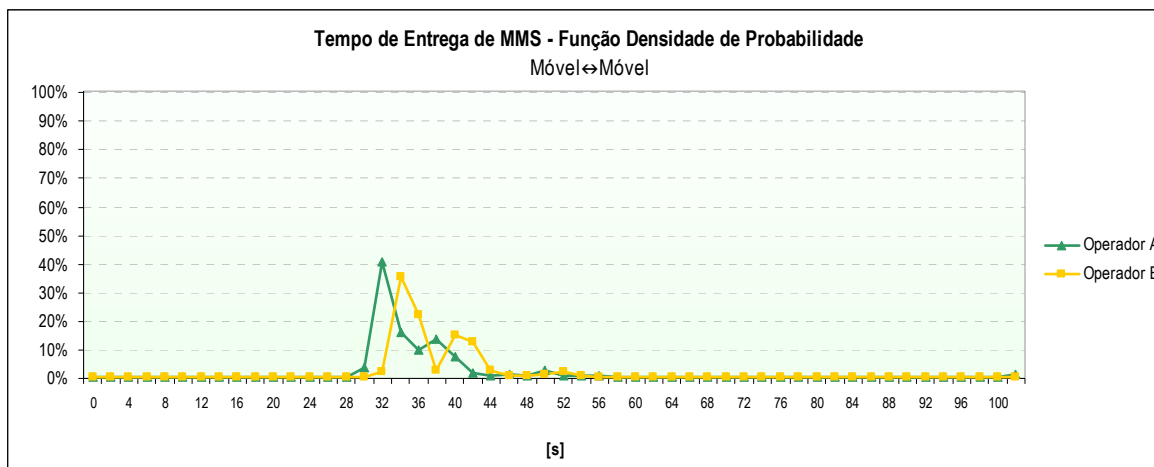


Figura 4-18 – Função Densidade de Probabilidade do indicador *Tempo de Entrega de MMS*

As variações ao longo do dia, do indicador *Tempo de Entrega de MMS*, são pouco acentuadas (Figura 4-19).

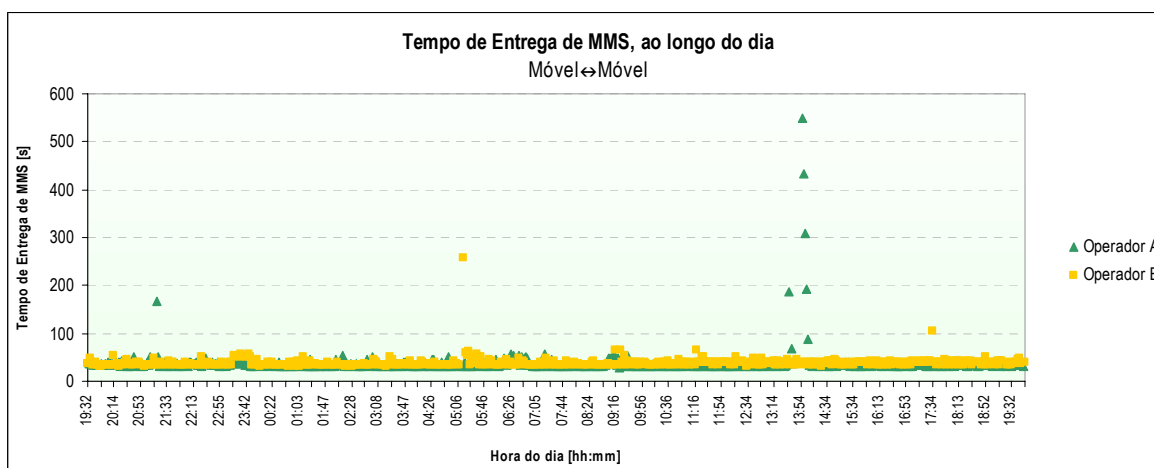


Figura 4-19 – *Tempo de Entrega de MMS*, ao longo do dia

As velocidades médias de transferência de MMS em *download* são melhores do que as registadas em *upload*, sendo o operador A o que apresenta melhor desempenho com 34,1kbps, em *upload*, e 44,5kbps, em *download*. As variações destes indicadores, ao longo do dia, são pouco significativas (Figura 4-20 e Figura 4-21).

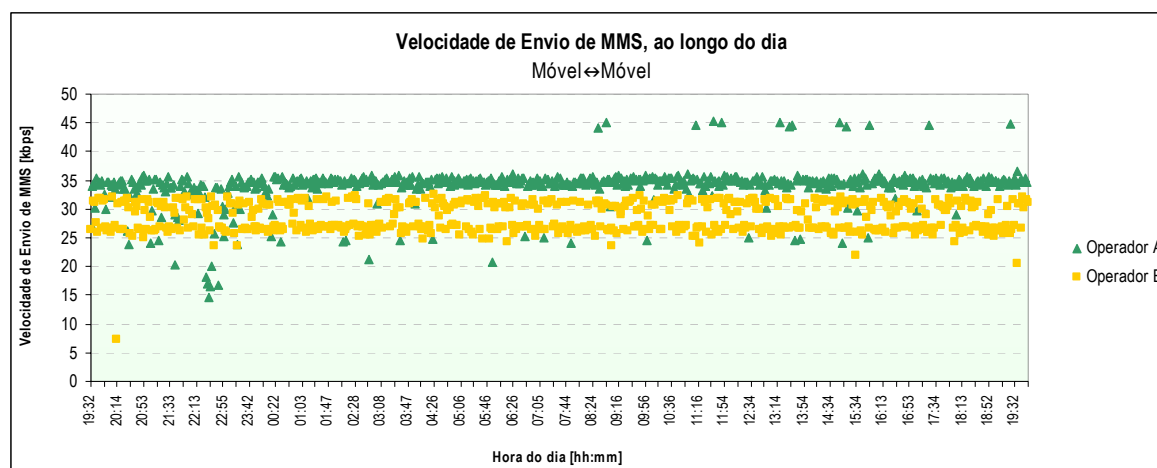


Figura 4-20 – Velocidade de Envio de MMS, ao longo do dia

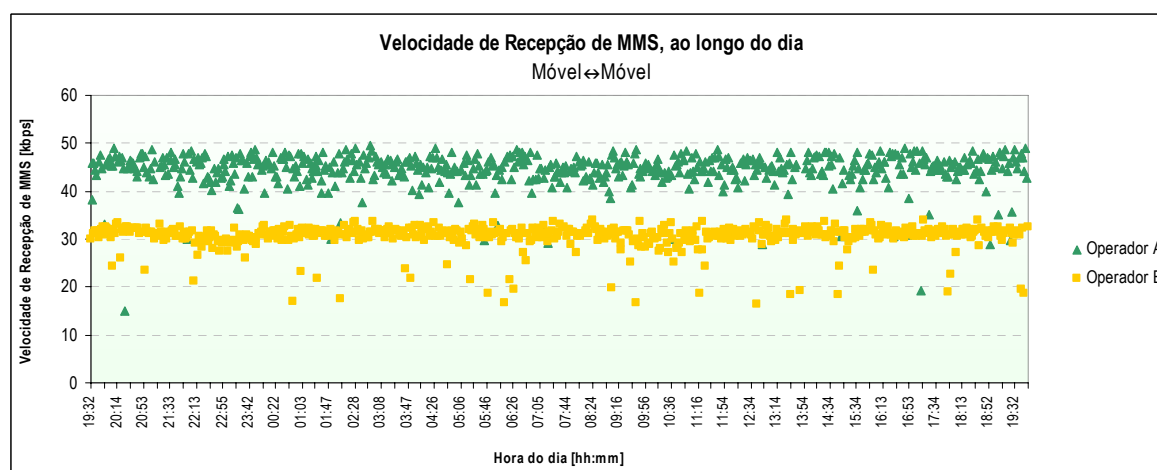


Figura 4-21 – Velocidade de Recepção de MMS, ao longo do dia

4.3.6 SESSÕES DE DADOS (GPRS/UMTS)

Os resultados das sessões estabelecidas para análise dos serviços de dados são apresentados na seguinte tabela (Tabela 4-6).

Tabela 4-6 – Sessões de Dados Realizadas

		Operador A	Operador B
Sessões de Dados	Sessões Realizadas	233	267
	Sessões com Sucesso	233	265
	Sessões Falhadas	0	2
	Taxa de Estabelecimento	100,0%	99,3%
	Tempo de Estabelecimento [ms]	1.716,8	1.633,5
	Desvio Padrão [ms]	71,6	78,1

As redes analisadas apresentam muito bom desempenho no estabelecimento de sessões de dados (*PDP Activation*): as sessões são estabelecidas rapidamente e as taxas de sucesso ascendem a 100% e 99,3%, respectivamente para os operadores A e B.

4.3.7 HTTP *BROWSING* (GPRS/UMTS)

Os sistemas de comunicações móveis, dos operadores estudados, apresentaram um bom comportamento quando utilizados para aceder a páginas *web* na Internet. Todas as sessões de acesso ao serviço de HTTP *browsing*, correctamente estabelecidas, permitiram o *download* completo da página *web* de teste, tal como apresentado na Tabela 4-7.

Tabela 4-7 – Resultados da análise do serviço HTTP *browsing*

		Operador A	Operador B
		Download	Download
Testes de Navegação HTTP	Sessões Realizadas	232	265
	Sessões com Sucesso	232	265
	Sessões Falhadas	0	0
	Taxa de Terminação de Sessões	100,0%	100,0%
	Velocidade Média [kbps]	134,6	163,8
	Velocidade Máxima [kbps]	147,7	186,9
	Velocidade Mínima [kbps]	81,5	49,3
	Desvio Padrão [kbps]	10,1	17,4

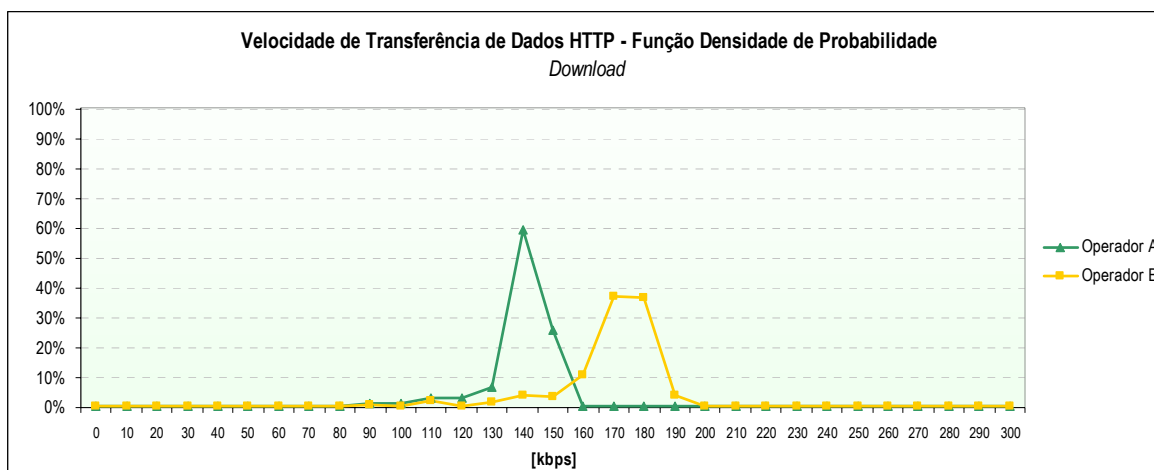


Figura 4-22 – Função Densidade de Probabilidade do indicador *Velocidade de Transferência de Dados HTTP*

As velocidades de *download* apresentam valores médios aceitáveis, tendo em conta os limites máximos permitidos pela tecnologia de suporte, com o melhor desempenho a pertencer ao operador B com um ritmo médio de 163,8 kbps (Tabela 4-7 e Figura 4-22).

Também para os serviços de dados, foram efectuados testes contínuos durante cerca de 24 horas, o que permite correlacionar a velocidade de *download* de informação com a hora do dia. Observa-se, tanto no operador A como no B, uma degradação da velocidade de *download* no período das 21h30 à 01h30 (Figura 4-23), possivelmente devido ao incremento do número de utilizadores a partilhar a infra-estrutura radioelétrica de acesso.

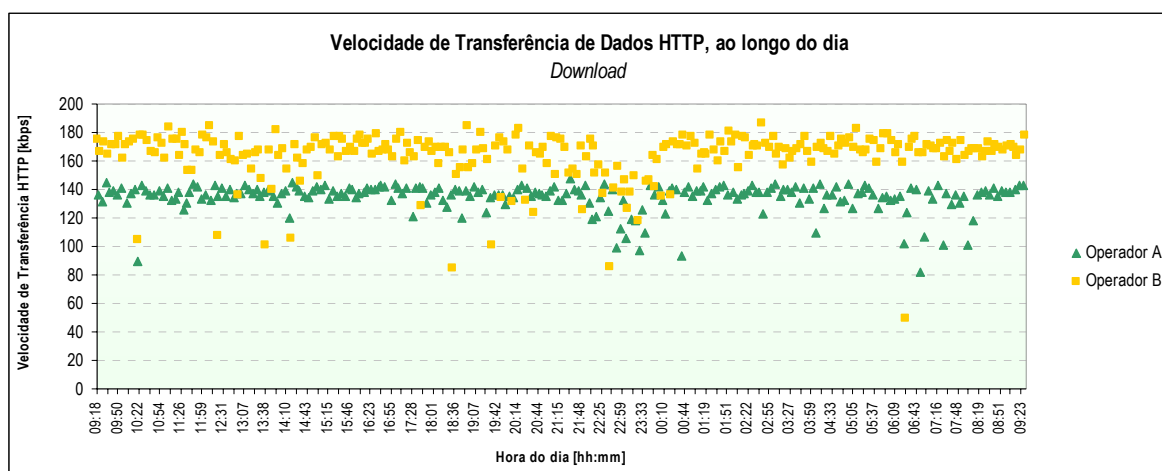


Figura 4-23 – Velocidade de Transferência de Dados HTTP, ao longo do dia

4.3.8 FTP UPLOAD E DOWNLOAD (GPRS/UMTS)

Os resultados dos testes FTP são apresentados na Tabela 4-8.

Tabela 4-8 – Resultados da análise do serviço de transferência de informação FTP

		Operador A		Operador B	
		Upload	Download	Upload	Download
Testes de Dados FTP	Sessões Realizadas	232	232	265	265
	Sessões com Sucesso	232	232	265	265
	Sessões Falhadas	0	0	0	0
	Taxa de Terminação de Sessões	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	Velocidade Média [kbps]	53,7	136,3	56,6	232,2
	Velocidade Máxima [kbps]	56,9	211,7	57,6	254,4
	Velocidade Mínima [kbps]	31,0	72,0	55,0	40,1
	Desvio Padrão [kbps]	2,6	16,4	0,2	37,5

Tal como em *HTTP browsing*, todas as sessões FTP permitiram a correcta transferência do ficheiro binário de teste utilizado, tanto em *upload* como em *download*, tanto o operador A como o B.

No que respeita a velocidades de transferência de dados, os resultados observados são bastante dispares, entre operadores e entre *upload* e *download*. Em *upload*, os ritmos de transferência não ultrapassam os 56,9 kbps e 57,6 kbps, respectivamente para os operadores A e B, com os ritmos médios muito próximos destes valores (Figura 4-24). É importante salientar que a capacidade de *upload* das redes estudadas, instalada nos locais onde foram realizados os testes, estava limitada a 64 kbps.

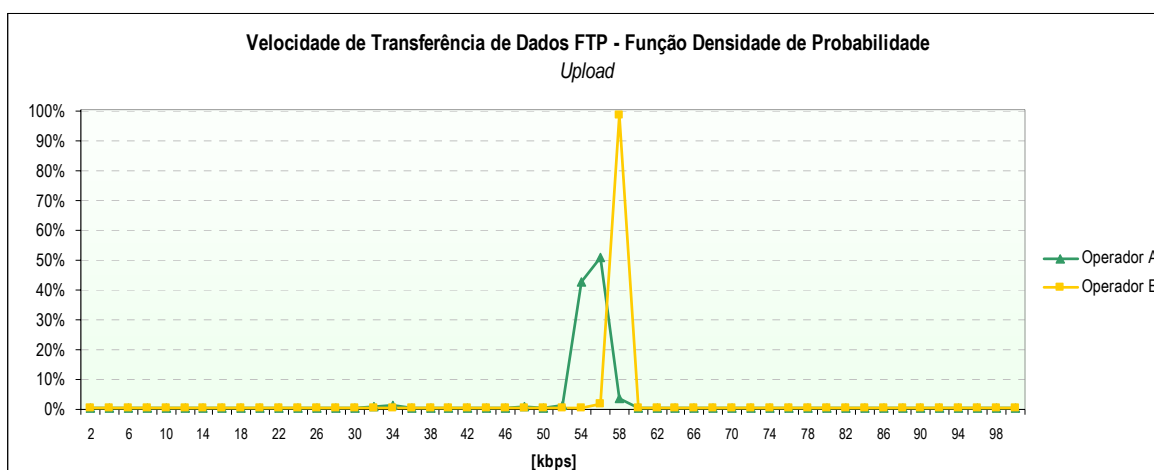


Figura 4-24 – Função Densidade de Probabilidade do indicador *Velocidade de Transferência de Dados FTP*, em *upload*

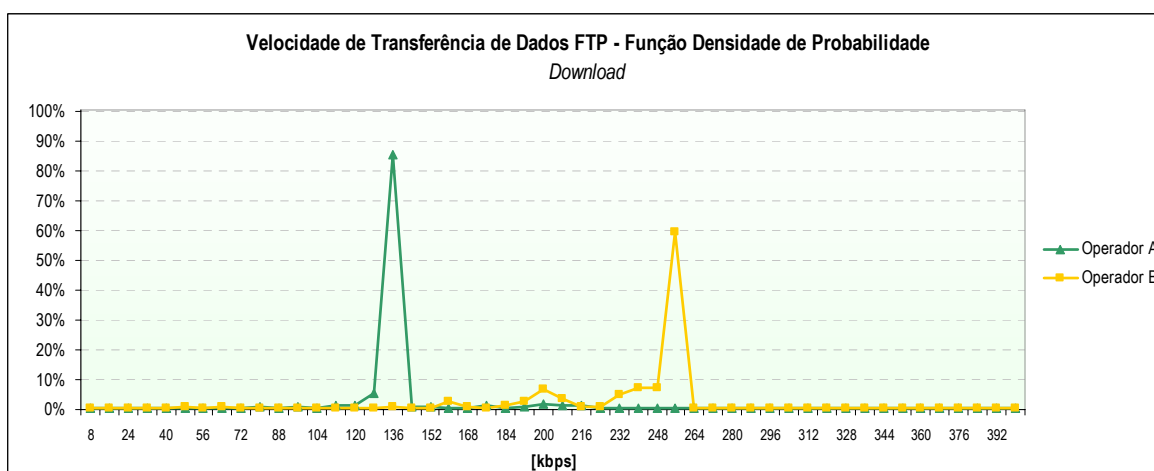


Figura 4-25 – Função Densidade de Probabilidade do indicador *Velocidade de Transferência de Dados FTP*, em *download*

Em *download*, registaram-se ritmos de transmissão muito superiores aos de *upload* e as diferenças entre operadores são muito significativas. O operador B apresenta o melhor desempenho, com um ritmo médio de transferência de dados de 232,2 kbps, enquanto que o operador A se fica pelos 136,3 kbps (Figura 4-25).

Em *upload* a variação da velocidade de transferência de dados FTP ao longo do dia é insignificante (Figura 4-26). Já em *download* é possível observar uma degradação da velocidade de transferência de dados no período compreendido entre as 21h00 e as 00h30 (Figura 4-27), possivelmente devido ao incremento do número de utilizadores a partilhar a infra-estrutura radioelétrica de acesso.

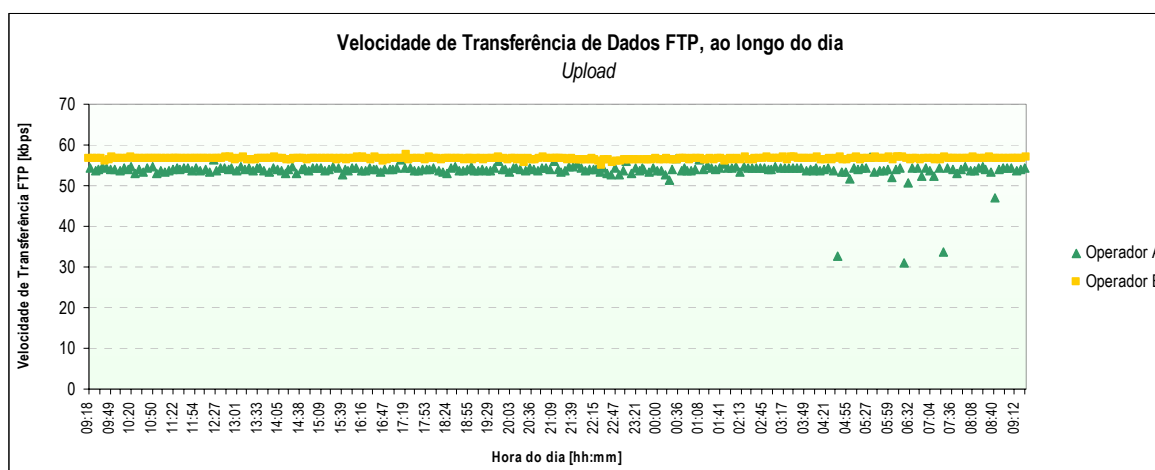


Figura 4-26 – Velocidade de Transferência de Dados FTP em *upload*, ao longo do dia

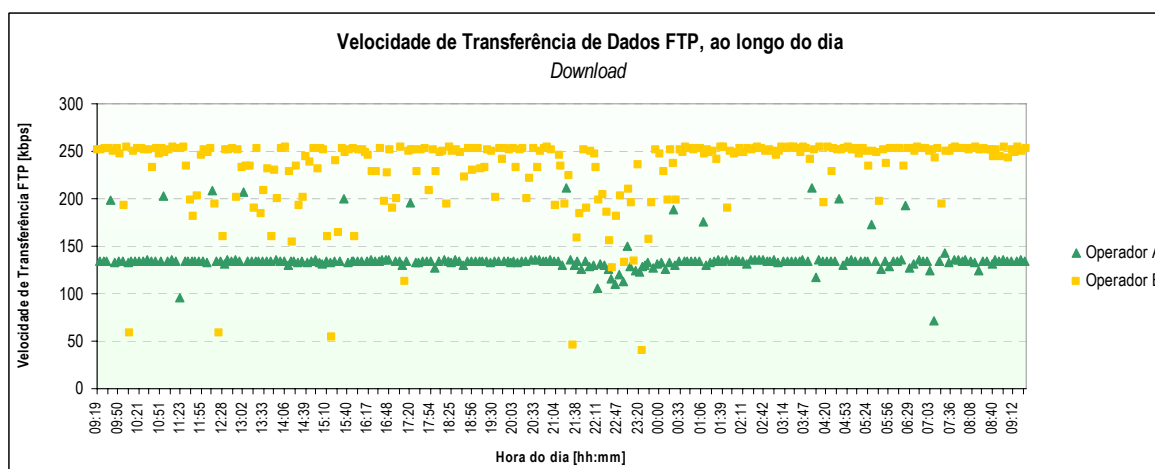


Figura 4-27 – Velocidade de Transferência de Dados FTP em *download*, ao longo do dia

4.3.9 ENVIO E RECEPÇÃO DE E-MAIL (GPRS/UMTS)

Os resultados dos testes de envio e recepção de e-mail são apresentados na Tabela 4-9.

Tabela 4-9 – Resultados da análise do serviço de *E-Mail*

		Operador A		Operador B	
		Envio	Recepção	Envio	Recepção
Testes de E-Mail	Sessões Realizadas	231	231	263	262
	Sessões com Sucesso	231	231	263	262
	Sessões Falhadas	0	0	0	0
	Taxa de Terminação de Sessões	100,0%	100,0%	100,0%	100,0%
	Velocidade Média [kbps]	52,2	168,3	56,0	268,3
	Velocidade Máxima [kbps]	54,8	259,1	57,0	289,9
	Velocidade Mínima [kbps]	17,7	101,2	27,2	132,2
	Desvio Padrão [kbps]	5,7	28,0	1,9	25,6

Mais uma vez, todas as sessões de teste correctamente iniciadas decorreram com sucesso, permitindo a transferência das mensagens de e-mail, tanto em envio como em recepção.

As velocidades de transferência de dados, registadas nos testes a este serviço, são muito semelhantes às registadas nos testes FTP. Em envio, os ritmos de ambos os operadores encontram-se na casa dos 50 kbps, com o operador B a apresentar o melhor desempenho (Figura 4-28). Em recepção, registaram-se ritmos muito mais elevados, cabendo o melhor desempenho ao operador B, com um ritmo médio de 268,3 kbps. O operador A regista um valor médio significativamente inferior, 168,3 kbps (Figura 4-29).

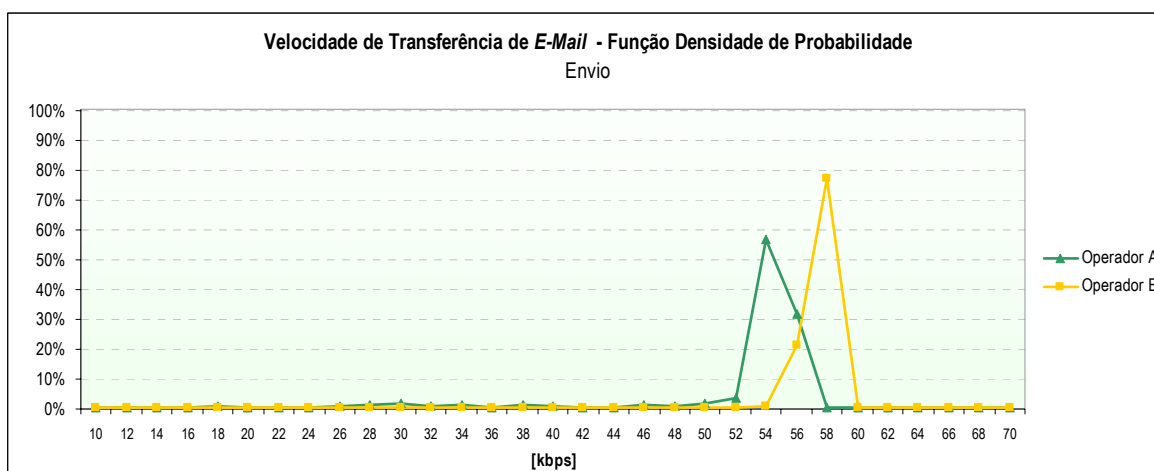


Figura 4-28 – Função Densidade de Probabilidade do indicador *Velocidade de Transferência de E-Mail*, em envio

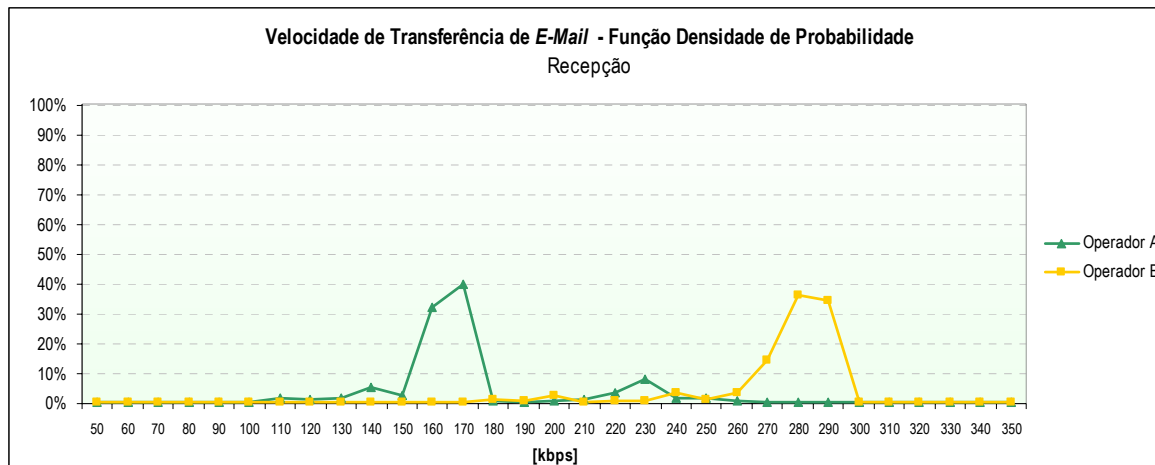


Figura 4-29 – Função Densidade de Probabilidade do indicador *Velocidade de Transferência de E-Mail*, em recepção

O comportamento do indicador *Velocidade de Transferência de E-Mail* ao longo do dia é semelhante ao observado em FTP e HTTP. Em envio, não se observam oscilações significativas dos ritmos de transferência (Figura 4-30), enquanto que em recepção se observa uma degradação deste indicador no período das 21h30 às 00h30 (Figura 4-31), possivelmente devido ao incremento do número de utilizadores a partilhar a infra-estrutura radioelétrica de acesso.

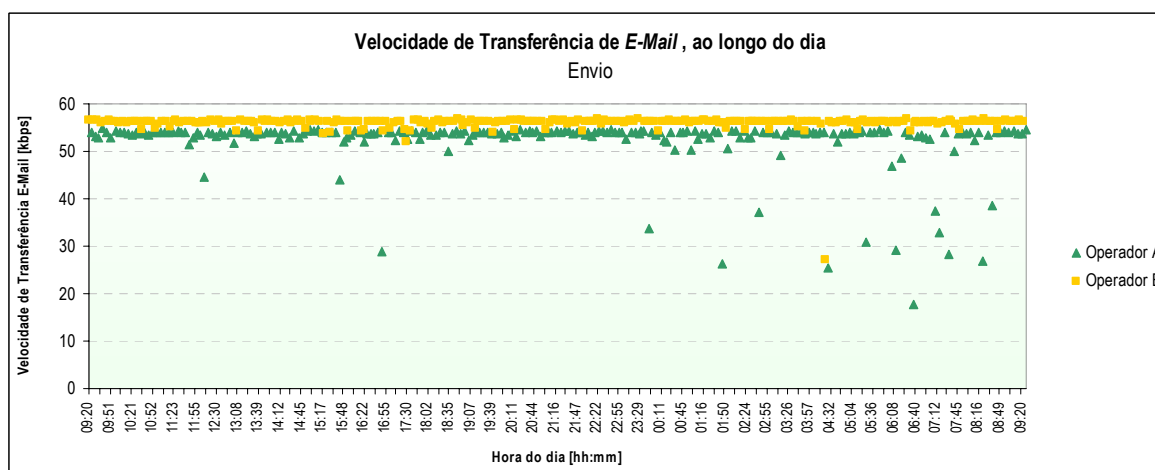


Figura 4-30 – *Velocidade de Envio de E-Mail*, ao longo do dia

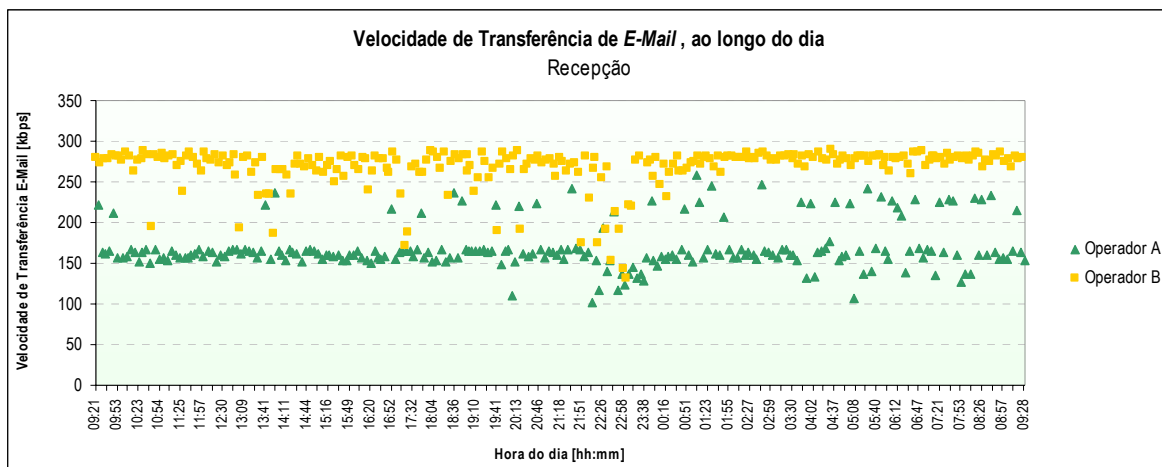


Figura 4-31 – Velocidade de Recepção de E-Mail, ao longo do dia

4.3.10 PING

Na Tabela 4-10, apresentam-se os resultados dos testes *Ping RTT*.

Tabela 4-10 – Resultados da análise *Ping RTT*

		Operador A	Operador B
Ping RTT	Testes Realizados	466	530
	Testes com Sucesso	465	530
	Testes Falhados	1	0
	Taxa de Sucesso	99,8%	100,0%
	Médio [ms]	324	169
	Máximo [ms]	759	700
	Mínimo [ms]	182	137
	Desvio Padrão [ms]	75	33

O melhor desempenho foi registrado pelo operador B, com 169 milissegundos de latência (RTT) média. O operador A não foi além de 324 milissegundos de latência (RTT) média (Figura 4-32). O operador B também registra melhores valores de variação de latência (corresponde ao desvio padrão da latência) do que o operador A.

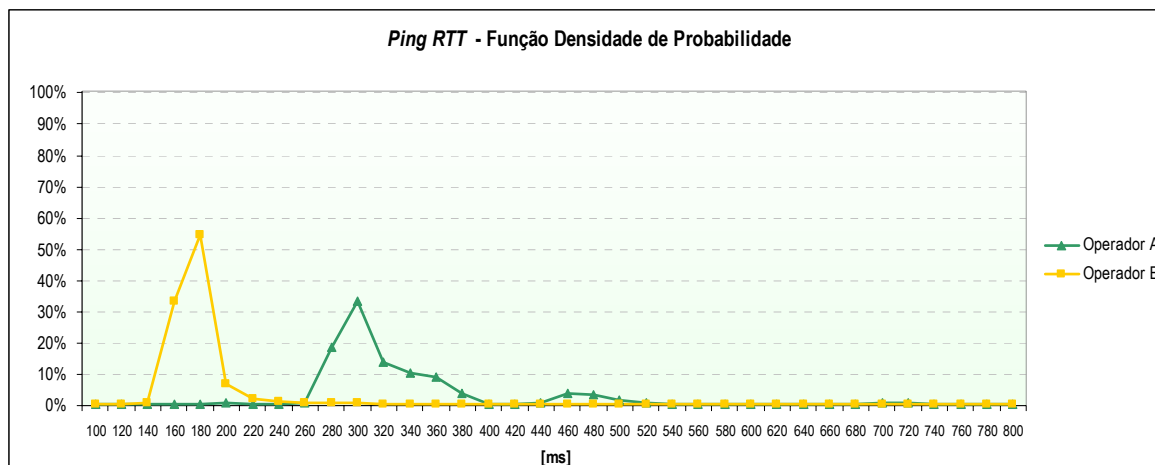


Figura 4-32 – Função Densidade de Probabilidade do indicador *Ping RTT*

A latência média da rede do operador A não apresenta variações significativas ao longo do dia. Na rede do operador B observa-se uma degradação no período 22h00 – 01h00, no entanto os valores médios, registados neste período, ainda são melhores do que os registados pelo operador A (Figura 4-33).

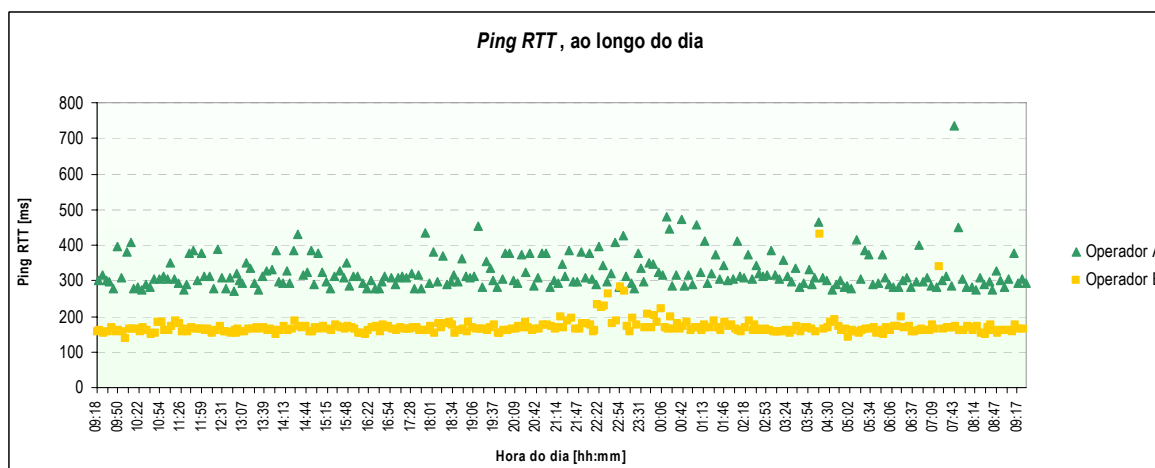


Figura 4-33 – *Ping RTT*, ao longo do dia

4.4 CONCLUSÕES

Os indicadores utilizados e a metodologia seguida permitiram obter resultados que possibilitam uma adequada caracterização da qualidade dos serviços disponibilizados por cada um dos sistemas de comunicações móveis estudados. Naturalmente que, devido à dimensão da amostra utilizada, a qualidade observada apenas se aplica aos locais e momentos da análise, não sendo possíveis extrapolações ou generalizações.

Os níveis radioelétricos registados em GSM e WCDMA, pelos operadores A e B, apresentam valores dentro dos níveis recomendados para a prestação de serviços.

A análise do serviço de voz permite concluir que o operador B apresenta melhor desempenho. Este operador não apresenta bloqueios no acesso ao serviço, estabelece mais rapidamente as chamadas e as terminações da utilização do serviço contra a vontade do utilizador são reduzidas e muito menores do que as registadas pelo operador A. Os dois operadores apresentam boa integridade do serviço de voz com os valores médios por chamada próximos dos limites máximos permitidos pelos *codec* de voz actualmente utilizados por estes operadores.

O desempenho do serviço de videotelefonia é claramente inferior ao do serviço de voz, estando ainda aquém das expectativas dos utilizadores, o que pode ser justificado pelos diferentes graus de maturação das tecnologias envolvidas e da experiência dos operadores na implementação e optimização destes sistemas celulares. Os resultados observados não permitem concluir qual o operador que globalmente apresenta melhor desempenho. O operador A apresenta bloqueios no acesso ao serviço preocupantes, apenas 82,4% das chamadas foram estabelecidas com sucesso, no entanto apresenta boa capacidade de retenção de chamadas, 99% das chamadas estabelecidas apresentaram terminação normal. O operador B apresenta menores bloqueios no acesso ao serviço, embora mesmo assim se encontrem aquém das expectativas dos utilizadores, mas apresenta pior capacidade de retenção do serviço, apenas 95,7% das chamadas estabelecidas terminaram de forma normal. O operador B apresenta menor tempo de estabelecimento de chamadas de videotelefonia.

No que respeita à integridade do serviço de videotelefonia observam-se melhores resultados médios por chamada em áudio do que em vídeo. O desempenho da componente vídeo da chamada ainda se encontra muito aquém do desejado pelos utilizadores, o que se deve à imaturidade e limitações técnicas que os sistemas móveis e os próprios equipamentos terminais ainda apresentam. O operador A apresenta o melhor desempenho, superiorizando-se ao operador B tanto em áudio como em vídeo.

O serviço SMS apresenta um excelente desempenho. A acessibilidade foi plena para ambos os operadores e as taxas de entrega registaram valores superiores a 99%, o operador A regista o melhor desempenho com 99,8%. As SMS são enviadas e entregues rapidamente, 99,52% apresentaram tempo médio de entrega inferior a 10 segundos. Mais uma vez o melhor desempenho foi registado pelo operador A.

O serviço de mensagens MMS apresenta um bom desempenho, ficando contudo aquém do observado para o serviço SMS. As taxas de entrega de MMS registadas atingem os 98%, para o operador A, e 95,8%, para o operador B. No que respeita a tempos de entrega, este indicador apresenta valores médios bons, sem diferenças significativas entre os operadores estudados. Cerca de 98,8% das mensagens entregues apresentaram tempo de entrega inferior a 1 minuto.

As redes analisadas apresentam muito bom desempenho no estabelecimento de sessões de dados (*PDP Activation*): as sessões são estabelecidas rapidamente e as taxas de sucesso ascendem a 100% e 99,3%, respectivamente para os operadores A e B. Os sistemas de comunicações móveis, dos operadores estudados, apresentaram um bom comportamento quando utilizados para aceder a serviços de dados: todas as sessões de acesso aos serviços de HTTP *browsing*, FTP e *e-mail* correctamente estabelecidas permitiram a utilização do serviço, ou seja, o *download* completo da página *web* de teste ou a transferência de ficheiros ou mensagens.

As velocidades de *upload*, registadas pelos operadores durante a utilização dos serviços de FTP e *e-mail*, apresentam valores médios superiores a 50 kbps (próximos da capacidade máxima de 64 kbps instalada pelos operadores nos locais onde foram realizados os testes).

As velocidades de *download* apresentam valores médios aceitáveis, tendo em conta os

limites máximos permitidos pela tecnologia de suporte, com os melhores desempenhos registados pelo operador B em todos os serviços analisados.

A rede do operador B apresenta melhores valores de latência, apresentando 169 milissegundos de latência (RTT) média. O operador A não foi além de 324 milissegundos de latência (RTT) média. O operador B também regista melhores valores de variação de latência (corresponde ao desvio padrão da latência) do que o operador A.

Observou-se ainda que ocorre uma degradação das velocidades de *download*, em todos os serviços analisados, e da latência no período nocturno compreendido entre as 21h00 e as 1h00 (aproximadamente), possivelmente devido ao incremento do número de utilizadores a partilhar a infra-estrutura radioelétrica de acesso no local onde foram efectuados os testes.

Os resultados dos testes de dados permitem concluir que o operador B apresenta o melhor desempenho.

Capítulo 5

CONCLUSÕES

Neste capítulo são apresentadas e discutidas as principais conclusões resultantes do trabalho efectuado. São ainda traçadas algumas possibilidades de desenvolvimento futuro no campo da QoS de redes e serviços móveis, sempre numa perspectiva de utilizador.

5.1 DISCUSSÃO

O aparecimento da tecnologia GSM mudou de forma irreversível o panorama das telecomunicações. Desde que surgiram as primeiras redes comerciais, em 1991, o número de utilizadores tem aumentado continuamente.

Mais recentemente, os sistemas celulares de terceira geração, entre os quais o UMTS, vieram colmatar algumas insuficiências do GSM ao permitirem acessos de alto débito para suporte de serviços de banda larga, tais como, acesso à Internet e aplicações multimédia.

Actualmente, face às elevadas taxas de penetração e de utilização dos sistemas GSM e UMTS, a qualidade de serviço na perspectiva do utilizador assume-se como uma das principais vantagens competitivas dos operadores presentes no mercado. Cada vez mais os consumidores procuram nos serviços simplicidade de utilização e qualidade superior, ininterruptamente e em qualquer lugar.

Foi neste contexto que surgiu este trabalho. Os objectivos eram claros: definir indicadores e condições de teste que permitissem, numa perspectiva de utilizador, avaliar a qualidade dos serviços mais comuns em sistemas de comunicações móveis GSM e UMTS. Estes indicadores e perfis de medida deviam também ser validados em análises a sistemas de comunicações reais.

O primeiro aspecto a ser clarificado foi o próprio conceito de *Qualidade de Serviço na Perspectiva de Utilizador*, que corresponde à percepção de qualidade sentida por um utilizador quando utiliza o serviço; indica o grau de satisfação do utilizador em termos de, por exemplo, acessibilidade, retenção e integridade do serviço. É normalmente expressa em termos de sensações humanas, do tipo, “excelente”, “boa”, “aceitável”, “pobre” e “má”, por oposição a *Desempenho da Rede* que é um conceito puramente técnico medido, expresso e entendido numa óptica de rede ou dos seus elementos, apresentando pouco significado para o utilizador.

Num segundo passo, foram identificados os serviços mais comuns nos sistemas de comunicações móveis actuais, em razão da sua relevância para os utilizadores finais e da

sua disponibilização pelos vários operadores presentes no mercado. De acordo com estes princípios, foram considerados os serviços de voz, videotelefonia, SMS, MMS, acesso a páginas *web* (HTTP *browsing*), transferência de informação (FTP) e e-mail. Foram ainda consideradas a disponibilidade e acessibilidade das redes radioelétricas de suporte a estes serviços.

Para cada um dos serviços, foram definidos indicadores específicos para caracterização da QoS em cada uma das fases da sua utilização, ou seja, indicadores do grau de satisfação do utilizador em termos de acessibilidade, retenção e integridade do serviço e também indicadores do grau de disponibilidade e acessibilidade das redes de suporte ao serviço. Estes indicadores de QoS têm por base testes de campo, efectuados na perspectiva do utilizador com recurso a um sistema automático de medida, reflectindo os vários aspectos que afectam a qualidade do serviço (medições extremo-a-extremo).

Os perfis de medida definem um conjunto de condições, que devem ser acauteladas, para a correcta aferição da qualidade dos serviços e garantia da fiabilidade dos testes. Contemplam ainda a normalização de processos e a definição de parâmetros de teste e medida, de forma a permitirem a exequibilidade das análises e a comparabilidade dos resultados obtidos.

Para validação dos indicadores e perfis de medida, foi realizada uma análise aos serviços de telefonia, mensagens e dados, bem como à disponibilidade das redes GSM e WCDMA, de dois sistemas de comunicações móveis portugueses. Os indicadores utilizados e a metodologia seguida permitiram obter resultados que possibilitam uma adequada caracterização da qualidade dos serviços disponibilizados por cada um dos sistemas de comunicações móveis estudados. Naturalmente que, devido à dimensão da amostra utilizada, a qualidade observada apenas se aplica aos locais e momentos da análise, não sendo possíveis extrapolações ou generalizações.

A análise realizada permitiu conhecer os níveis radioelétricos das tecnologias GSM e WCDMA utilizadas pelos operadores estudados, verificando-se que eram adequados para a prestação de serviços.

A análise aos serviços de telefonia permitiram verificar as condições de acessibilidade,

retenção e integridade em que estes serviços são prestados. Para o serviço de voz foi possível identificar o operador com o melhor desempenho. Em videotelefonia verificaram-se resultados claramente inferiores aos registados em voz e aquém das expectativas dos utilizadores, denotando a pouca maturidade das tecnologias em que se suporta este serviço. Para este serviço não foi possível identificar o operador com melhor desempenho.

Para os serviços de mensagens foram identificadas as condições de prestação destes serviços, nomeadamente no que respeita a acessibilidade e taxas e tempos de entrega de mensagens. Estes serviços apresentam bom desempenho, em especial o serviço de SMS, tendo sido possível a identificação do operador com melhor desempenho.

Também para os serviços de dados, a utilização dos indicadores de QoS e perfis de medida, definidos nesta dissertação, permitiu a caracterização do desempenho destes serviços. Registou-se muito boa acessibilidade aos serviços, boas velocidades de transferência de informação, face às limitações das tecnologias de suporte, diferenças significativas nas latências dos dois sistemas e foi possível identificar o operador que apresentava o melhor desempenho. Observaram-se ainda degradações das velocidades de *download* e latência no período nocturno compreendido entre as 21h00 e a 1h00 (aproximadamente).

Os resultados obtidos permitem concluir que os indicadores e perfis de medida, definidos e caracterizados nesta dissertação, são adequados para a avaliação da QoS na perspectiva do utilizador dos serviços e sistemas móveis mais comuns.

5.2 TRABALHO FUTURO

Os indicadores de QoS na perspectiva do utilizador, na sua generalidade, aplicam-se aos respectivos serviços, independentemente da infra-estrutura tecnológica de suporte. Já os perfis de medida apresentam uma forte correlação com a tecnologia, em especial no que respeita a parâmetros de teste, pelo que a sua aplicação a tecnologias emergentes no mercado, tais como HSDPA e HSUPA, carece de aprofundado estudo e definição de parametrizações adequadas de teste.

Para alargamento do âmbito de aplicação deste trabalho a novos serviços, tais como, *mobile tv*, *videostreaming* e outros que venham a apresentar utilização relevante por parte dos consumidores de comunicações electrónicas, é necessário proceder à definição de indicadores de QoS específicos e, eventualmente, à reformulação dos perfis de medida.

A opção por uma perspectiva intra-rede, nas análises de QoS, tem subjacentes questões de objectividade de análise e atribuição inequívoca da responsabilidade pela qualidade de serviço observada. Contudo, embora esta perspectiva continue a ser a que acolhe a maior fatia da utilização dos serviços móveis e, como tal, seja a que mais contribui para a qualidade percebida pelos utilizadores, as perspectivas inter-redes e *roaming* assumem crescente relevância, sendo imperativo a sua inclusão em análises de QoS. O aprofundamento dos aspectos apresentados na secção 3.5 pode ser o ponto de partida para este trabalho.

Por fim, as especificidades deste tipo de redes, serviços e utilizadores dificultam a definição de amostras estatisticamente representativas, em termos geográficos e temporais, optando-se normalmente pela sobreamostragem. A definição de métodos adequados de amostragem permitiria otimizar os custos de análise de redes e serviços.

Bibliografia

- [**3GPP, 2007**] 3rd Generation Partnership Project. *homepage*. <http://www.3gpp.org/>, consultado em Março de 2007.
- [**ANACOM, 2007a**] ANACOM. “Cronologia das Comunicações Móveis em Portugal”. <http://www.anacom.pt/template12.jsp?categoryId=38428>, consultado em Março de 2007.
- [**ANACOM, 2007b**] ANACOM. “Serviço Telefónico Móvel - 4º Trimestre de 2006”. <http://www.anacom.pt/template12.jsp?categoryId=237262>, consultado em Março de 2007.
- [**ARCEP, 2006**] ARCEP. “La qualité de service des réseaux de téléphonie mobile de seconde génération en France métropolitaine pour l'année 2006 - *octobre 2006*”. [http://www.arcep.fr/index.php?id=8455&tx_gspublication_pi1\[typo\]=5&tx_gspublication_pi1\[uidDocument\]=469&cHash=03e3ca9666](http://www.arcep.fr/index.php?id=8455&tx_gspublication_pi1[typo]=5&tx_gspublication_pi1[uidDocument]=469&cHash=03e3ca9666), consultado em Junho de 2007.
- [**Chevallier et al., 2006**] Christophe Chevallier, Christopher Brunner, Andrea Garavaglia, Kevin P. Murray e Kenneth R. Baker (eds.). *WCDMA (UMTS) Deployment Handbook: Planning and Optimization Aspects*. John Wiley & Sons, Ltd, London, 2006.
- [**ETSI EG 202 057-1**] ETSI EG 202 057-1 V1.2.1 (2005-10): “Speech Processing, Transmission and Quality Aspects (STQ); User related QoS parameter definitions and measurements; Part 1: General”, 2005.
- [**ETSI EG 202 057-2**] ETSI EG 202 057-2 V1.2.1 (2005-10): “Speech Processing, Transmission and Quality Aspects (STQ); User related QoS parameter definitions and measurements; Part 2: Voice telephony, Group 3 fax, modem data services and SMS”, 2005.
- [**ETSI EG 202 057-3**] ETSI EG 202 057-3 V1.1.1 (2005-04): “Speech Processing, Transmission and Quality Aspects (STQ); User related QoS parameter definitions and measurements; Part 3: QoS parameters specific to Public Land Mobile Networks (PLMN)”, 2005.
- [**ETSI EG 202 057-4**] ETSI EG 202 057-4 V1.1.1 (2005-10): “Speech Processing, Transmission and Quality Aspects (STQ); User related QoS parameter definitions and measurements; Part 4: Internet access”, 2005.
- [**ETSI TR 102 493**] ETSI TR 102 493 V1.1.1 (2005-08): “Speech Processing, Transmission and Quality Aspects (STQ); Guidelines for the use of Video Quality Algorithms for Mobile Applications”, 2005.

- [ETSI TR 102 505]** ETSI TR 102 505 V1.1.1 (2006-12): “Speech Processing, Transmission and Quality Aspects (STQ); Development of a Reference Web page”, 2006.
- [ETSI TR 102 506]** ETSI TR 102 506 V1.1.1 (2006-10): “Speech Processing, Transmission and Quality Aspects (STQ); Estimating Speech Quality per Call”, 2006.
- [ETSI TR 121 905]** ETSI TR 121 905 V7.2.0 (2006-06): “Digital cellular telecommunications system (Phase 2+); Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); Vocabulary for 3GPP Specifications (3GPP TR 21.905 version 7.2.0 Release 7)”, 2006.
- [ETSI TS 102 250-1]** ETSI TS 102 250-1 V1.1.1 (2003-10): “Speech Processing, Transmission and Quality Aspects (STQ); QoS aspects for popular services in GSM and 3G networks; Part 1: Identification of Quality of Service aspects”, 2003.
- [ETSI TS 102 250-2]** ETSI TS 102 250-2 V1.4.1 (2006-03): “Speech Processing, Transmission and Quality Aspects (STQ); QoS aspects for popular services in GSM and 3G networks; Part 2: Definition of Quality of Service parameters and their computation”, 2006.
- [ETSI TS 102 250-3]** ETSI TS 102 250-3 V1.3.2 (2005-09): “Speech Processing, Transmission and Quality Aspects (STQ); QoS aspects for popular services in GSM and 3G networks; Part 3: Typical procedures for Quality of Service measurement equipment”, 2005.
- [ETSI TS 102 250-4]** ETSI TS 102 250-4 V1.1.1 (2003-10): “Speech Processing, Transmission and Quality Aspects (STQ); QoS aspects for popular services in GSM and 3G networks; Part 4: Requirements for Quality of Service equipment”, 2003.
- [ETSI TS 102 250-5]** ETSI TS 102 250-5 V1.3.1 (2005-11): “Speech Processing, Transmission and Quality Aspects (STQ); QoS aspects for popular services in GSM and 3G networks; Part 5: Definition of typical measurement profiles”, 2005.
- [ETSI TS 102 250-6]** ETSI TS 102 250-6 V1.2.1 (2004-10): “Speech Processing, Transmission and Quality Aspects (STQ); QoS aspects for popular services in GSM and 3G networks; Part 6: Post processing and statistical methods”, 2004.
- [ETSI TS 122 060]** ETSI TS 122 060 V6.0.0 (2003-03): “Digital cellular telecommunications system (Phase 2+); Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); General Packet Radio Service (GPRS); Service description; Stage 1 (3GPP TS 22.60 version 6.0.0 Release 6)”, 2003.
- [ETSI TS 122 105]** ETSI TS 122 105 V6.4.0 (2005-09): “Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); Services and service capabilities (3GPP TS 22.105 version 6.4.0 Release 6)”, 2005.
- [ETSI TS 122 903]** ETSI TS 122 903 V7.0.0 (2005-12): “Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); Study on Videotelephony teleservice (3GPP TS 22.903 version 7.0.0 Release 7)”, 2005.
- [ETSI TS 123 107]** ETSI TS 123 107 V6.4.0 (2006-03): “Digital cellular telecommunications system (Phase 2+); Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); Quality of Service (QoS) concept and architecture (3GPP TS 23.107 version 6.4.0 Release 6)”, 2006.

-
- [ETSI TS 123 207] ETSI TS 123 207 v6.6.0 (2005-09): “Digital cellular telecommunications system (Phase 2+); Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); End-to-End Quality of Service (QoS) concept and architecture (3GPP TS 23.207 version 6.6.0 Release 6)”, 2005.
- [ETSI TS 125 101] ETSI TS 125 101 v7.4.0 (2006-06): “Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); User Equipment (UE) radio transmission and reception (FDD) (3GPP TS 25.101 version 7.4.0 Release 7)”, 2006.
- [ETSI TS 125 133] ETSI TS 125 133 v7.4.0 (2006-06): “Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); Requirements for support of radio resource management (FDD) (3GPP TS 25.133 version 7.4.0 Release 7)”, 2006.
- [ETSI TS 125 304] ETSI TS 125 304 v7.0.0 (2006-03): “Universal Mobile Telecommunications System (UMTS); User Equipment (UE) procedures in idle mode and procedures for cell reselection in connected mode (3GPP TS 25.304 version 7.0.0 Release 7)”, 2006.
- [ETSI TS 143 022] ETSI TS 143 022 v6.3.0 (2005-04): “Digital cellular telecommunications system (Phase 2+); Functions related to Mobile Station (MS) in idle mode and group receive mode (3GPP TS 43.022 version 6.3.0 Release 6)”, 2005.
- [ETSI TS 145 008] ETSI TS 145 008 v6.15.0 (2005-11): “Digital cellular telecommunications system (Phase 2+); Radio Sub-system link control (3GPP TS 45.008 version 6.15.0 Release 6)”, 2005.
- [GSM Association, 2007] GSM Association. “Brief History of GSM & the GSMA”. <http://www.gsmworld.com/about/history.shtml>, consultado em Março de 2007.
- [Holma e Toskala, 2000] Harri Holma e Antti Toskala (eds.). *WCDMA for UMTS: Radio Access For Third Generation Mobile Communications*. John Wiley & Sons, Ltd, 2000.
- [ITU-T E.105] CCITT Recommendation E.105 (08/1992): “Telephone Network and ISDN Operation, Numbering, Routing and Mobile Service; International Telephone Service”, 1992.
- [ITU-T E.800] ITU-T Recommendation E.800 (08/94): “Telephone Network and ISDN Quality of Service, Network Management and Traffic Engineering; Terms and Definitions Related to Quality of Service and Network Performance Including Dependability”, 1995.
- [ITU-T F.700] ITU-T Recommendation F.700 (11/2000): “Non-Telephone Telecommunication Services; Audiovisual services; Framework Recommendation for multimedia services”, 2000.
- [ITU-T G.1000] ITU-T Recommendation G.1000 (11/2001): “Transmission Systems and Media, Digital Systems and Networks; Quality of Service and performance; Communications quality of service: A framework and definitions”, 2001.
- [ITU-T G.1010] ITU-T Recommendation G.1010 (11/2001): “Transmission Systems and Media, Digital Systems and Networks; Quality of Service and performance; End-user multimedia QoS categories”, 2001.
-

- [ITU-T G.114]** ITU-T Recommendation G.114 (05/2003): “Transmission Systems and Media, Digital Systems and Networks; International telephone connections and circuits – General Recommendations on the transmission quality for an entire international telephone connection; One-way transmission time”, 2003.
- [ITU-T P.10/G.100]** ITU-T Recommendation P.10/G.100 (07/2006): “Telephone Transmission Quality, Telephone Installations, Local Line Networks; Vocabulary and effects of transmission parameters on customer opinion of transmission quality: Vocabulary for performance and quality of service”, 2006.
- [ITU-T P.800.1]** ITU-T Recommendation P.800.1 (07/2006): “Telephone Transmission Quality, Telephone Installations, Local Line Networks; Methods for objective and subjective assessment of quality: Mean Opinion Score (MOS) terminology”, 2006.
- [ITU-T P.800]** ITU-T Recommendation P.800 (08/96): “Telephone Transmission Quality; Methods for objective and subjective assessment of quality: Methods for subjective determination of transmission quality”, 1996.
- [ITU-T P.862.1]** ITU-T Recommendation P.862.1 (11/2003): “Telephone Transmission Quality, Telephone Installations, Local Line Networks; Methods for objective and subjective assessment of quality; Mapping function for transforming P.862 raw result scores to MOS-LQO”, 2003.
- [ITU-T P.862.2]** ITU-T Recommendation P.862.1 (11/2005): “Telephone Transmission Quality, Telephone Installations, Local Line Networks; Methods for objective and subjective assessment of quality; Wideband extension to Recommendation P.862 for the assessment of wideband telephone networks and speech codecs”, 2005.
- [ITU-T P.862.3]** ITU-T Recommendation P.862.1 (11/2005): “Telephone Transmission Quality, Telephone Installations, Local Line Networks; Methods for objective and subjective assessment of quality; Application guide for objective quality measurement based on Recommendations P.862, P.862.1 and P.862.2”, 2005.
- [ITU-T P.862]** ITU-T Recommendation P.862 (02/2001): “Telephone Transmission Quality, Telephone Installations, Local Line Networks; Methods for objective and subjective assessment of quality; Perceptual evaluation of speech quality (PESQ): An objective method for end-to-end speech quality assessment of narrow-band telephone networks and speech codecs”, 2001.
- [ITU-T P.910]** ITU-T Recommendation P.910 (09/99): “Telephone Transmission Quality, Telephone Installations, Local Line Networks; Audiovisual quality in multimedia services: Subjective video quality assessment methods for multimedia applications”, 1999.
- [ITU-T P.911]** ITU-T Recommendation P.911 (12/98): “Telephone Transmission Quality, Telephone Installations, Local Line Networks; Audiovisual quality in multimedia services: Subjective audiovisual quality assessment methods for multimedia applications”, 1999.
- [ITU-T P.931]** ITU-T Recommendation P.931 (12/98): “Telephone Transmission Quality, Telephone Installations, Local Line Networks; Audiovisual quality in multimedia services: Multimedia communications delay, synchronization and frame rate measurement”, 1999.

- [**Kreher, 2006**] Ralf Kreher. *UMTS Performance Measurement: A Practical Guide to KPIs for the UTRAN Environment*. John Wiley & Sons, Ltd, London, 2006.
- [**Lempiäinen e Manninen, 2001**] Jukka Lempiäinen e Matti Manninen. *Radio Interface System Planning for GSM/GPRS/UMTS*. Kluwer Academic Publishers, Boston, 2001.
- [**Mishra, 2007**] Ajay R. Mishra (ed.). *Advanced Cellular Network Planning and Optimisation: 2G/2.5G/3G... Evolution to 4G*. John Wiley & Sons, Ltd, London, 2007.
- [**Mouly e Pautet, 1992**] Michel Mouly e Marie-Bernardette Pautet. *The GSM System for Mobile Communications*. Michel Mouly and Marie-Bernardette Pautet, Palaiseau, 1992.
- [**Muratore, 2001**] Flavio Muratore (ed.). *UMTS: Mobile Communications for the future*. John Wiley & Sons, Ltd, 2001.
- [**OPT, 2007**] Optimus. *homepage*. <http://www.optimus.pt/>, consultado em Março de 2007.
- [**Prasad et al., 2000**] Ramjee Prasad, Werner Mohr e Walter Konhäuser (eds.). *Third Generation Mobile Communication Systems*. Artech House Publishers, Boston, London, 2000.
- [**Soldani et al., 2006**] David Soldani, Man Li e Renaud Cuny (eds.). *QoS and QoE Management in UMTS Cellular Systems*. John Wiley & Sons, Ltd, London, 2006.
- [**Soldani, 2005**] David Soldani. “QoS Management in UMTS Terrestrial Radio Access FDD Networks”. Helsinki University of Technology, Espoo, Finland, 2005.
- [**TMN, 2007**] TMN. *homepage*. <http://www.tmn.pt/>, consultado em Março de 2007.
- [**UMTS Forum, 2007**] UMTS Forum. <http://www.ums-forum.org/>, consultado em Março de 2007.
- [**UMTS World, 2007**] UMTS World. <http://www.umtsworld.com/>, consultado em Março de 2007.
- [**VDF, 2007**] Vodafone. *homepage*. <http://www.vodafone.pt/>, consultado em Março de 2007.
- [**VQEG, 2007**] VQEG – Video Quality Experts Group: “Multimedia Group Test Plan”, Draft Version 1.16, February 7, 2007.
- [**Wang, 2001**] Zheng Wang. *Internet QoS: Architectures and Mechanisms for Quality of Service*. Morgan Kaufmann Publishers, San Francisco, 2001.
- [**Wireless Intelligence, 2007**] Wireless Intelligence. *The global database of mobile market information home page*. <https://www.wirelessintelligence.com/>, consultado em Março de 2007.